

Markus Jäntti

Akustisia LVI-ratkaisuja

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

14.03.2014

Tekijä Otsikko	Markus Jäntti Akustisia LVI-ratkaisuja
Sivumäärä Aika	49 sivua 30.03.2014
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Koulutusohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaaja	lehtori Jyrki Viranko
<p>Opinnäytetyöaiheeni on akustiset ratkaisut LVI:ssä. Työn tavoitteena on saada hyvä käsitys akustiikan peruskäsitteistä ja LVI-akustiikan suunnittelusta, ratkaisuista ja ongelmista. Aiheen valintaan päädyin edellisen työmaan aikana. Rakennus oli tarkoitus muuttaa musiikin opetukseen soveltuvaksi, joten äänitekniset vaatimukset siellä olivat erittäin tiukat. Työmaan alussa huomasin, että en tiedä oikeastaan yhtään mitään akustiikasta ja päätin opinnäytetyön merkeissä syventyä aiheeseen, koska se vaikutti erittäin mielenkiintoiselta. Opinnäytetyötä tehdessäni huomasin, että peruserrostalohuoneistonkin hyvän akustiikan aikaansaamiseksi vaaditaan hyvää suunnittelua ja toteutusta. Opinnäytetyö on pääasiallisesti koottu kahta kirjallista akustiikkaa käsittelevää oppikirjaa ja Rakennustieto Oy:n julkaisemia LVI-ohjekortteja hyödyntäen.</p> <p>Ääni on tärkeä osa inhimillistä aistimaailmaa, ja sen takia akustiikka on noussut tärkeäksi perustaksi niin rakenne- kuin LVI-suunnittelussakin. Häiritsevä ääni, eli melu, vaikuttaa ihmisen viihtyvyyteen niin työpaikalla kuin kotonakin ja saattaa pahimmassa tapauksessa olla merkittävä terveysriski esimerkiksi työmaalla. Pienikin ilmanvaihdon aiheuttama ääni saattaa pilata yöunet.</p> <p>Lopulta opinnäytetyöstä muodostui yleispätevä opas LVI-akustiikkaan liittyen. Tästä opinnäytetyöstä löytyy ratkaisut yleisimpiin LVI-akustisiin ongelmakohtiin.</p>	
Avainsanat	akustiikka, melu, LVI, äänenvaimennin, ilmanvaihto, lämmitys

Author Title	Markus Jäntti Acoustical solutions in HVAC
Number of Pages Date	49 pages 30 March 2014
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor	Jyrki Viranko, Senior Lecturer
<p>The goal of this Bachelor's thesis was to assemble a good, comprehensive guide about acoustical basics and solutions in HVAC by using mainly Rakennustieto Oy's directives and acoustical textbooks. Also, legal provisions, SFS standards and manufacturers' web-sites were studied. The main focus was on the acoustical planning but also on finding out different kinds of issues and actions in HVAC.</p> <p>For the thesis, three aspects were studied: acoustical basics, legislation governing acoustics in Finland, and the HVAC acoustics. First, the most fundamental terms in acoustics used in planning were gathered. Then, knowledge about some central laws concerning voice were examined. Finally, the four major sections in HVAC acoustics, i.e. water supply, sewerage, heating and air conditioning were studied. Based on this, the noise sources of the sections as well as noise prevention were introduced.</p> <p>This thesis offers the answers for common questions and issues in HVAC acoustics. All in all, a wide and challenging subject was adapted to a simple and understandable guide to help design acoustically better systems.</p>	
Keywords	acoustic, noise, HVAC, silencer, air condition, heating

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Akustiikan perusteita	1
2.1	Ääni ja melu	1
2.2	Taajuus	2
2.3	Ilma-, runko- ja askelääni	3
2.4	Äänenpaine ja äänenpainetaso	4
2.5	Taajuuskaistat	6
2.6	Jälkikaiunta-aika ja absorptio	7
2.7	Äänen heijastuminen	9
3	Lainsäädäntö ja määräykset	10
3.1	RakMK C1 – Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa	10
3.2	Standardi SFS 5907:2004	12
3.3	Valtioneuvoston asetus 85/2006	13
4	LVI-järjestelmät	14
4.1	Vesijohtolaitteet	14
4.1.1	Äänilähde	14
4.1.2	Suunnittelu ja sijoittaminen	14
4.1.3	Kiertovesipumput	16
4.1.4	Säätöventtiilit	17
4.1.5	Kalusteet	17
4.1.6	Kannakointi ja läpiviennit	17
4.2	Viemärit	18
4.2.1	Äänilähde	18
4.2.2	Suunnittelu ja sijoittaminen	18
4.2.3	Kannakointi ja läpiviennit	22
4.3	Lämmitysputkisto	23
4.3.1	Äänilähde	23
4.3.2	Pumput	24
4.3.3	Venttiilit	26
4.3.4	Putkisto	27
4.3.5	Kannakointi ja läpiviennit	28
4.3.6	Lämmityslaitteistot	29
4.3.7	Tärinäeristin	30

4.4	Ilmanvaihto	32
4.4.1	Äänilähde	32
4.4.2	Äänen eteneminen	33
4.4.3	Äänen vaimeneminen	33
4.4.4	Suunnitteluperusteet	35
4.4.5	Kanavisto	36
4.4.6	Äänenvaimentimet	37
4.4.7	Venttiilit	39
4.4.8	Säätöelimet	39
4.4.9	Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	40
4.4.10	Kiinteistökohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	41
4.4.11	Huoneistokohtainen poistoilmanvaihtojärjestelmä	43
4.4.12	Yhteiskanavapoistoilmanvaihtojärjestelmä	44
4.4.13	Kanavaosan äänenvaimennuksen mittaus	45
4.4.14	Päätelaitteen äänenvaimennuksen mittaus	45
4.4.15	Puhallinten äänitehotason mittaus	46
4.4.16	Kanavaosien äänenkehityksen mittaus	46
5	Yhteenveto	47
	Lähteet	48

1 Johdanto

Ääni on tärkeä osa ihmisen kokemusmaailmaa. Esimerkiksi musiikki mielletään miellyttäväksi ääneksi, mutta toisille se saattaa olla häiritsevää ääntä eli melua. Melun ei tarvitse olla voimakas, jotta se häiritsee. Ilmastoinnista lähtevä heikko äänikin saattaa pilata yöunet ja sitä kautta viedä voimia seuraavalta päivältä. Toisin sanoen pienikin häiritsevä ääni saattaa vaikuttaa ihmisen terveyteen.

Ensimmäiset akustiikkaan liittyvät ohjeet julkaistiin jo vuonna 1920 (2, s. 22). Rakentamisen kehittyessä jatkuvasti ovat myös akustiset ohjeet ja määräykset tiukentuneet viimeisen sadan vuoden aikana. Nykyään ääniolosuhteet ovat yksi tärkeimmistä rakennuksen ja tilan ominaisuuksista. Akustisen suunnittelun tavoitteena on tehdä huoneen tai rakennuksen käyttötarkoitukselle mahdollisimman optimaaliset olosuhteet. Oli se sitten äärimmäistä hiljaisuutta vaativa studio, neuvotteluhuone tai kerrostaloasunto, jokaiselle pitäisi tehdä hyvä akustinen suunnittelu ja toteutus.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on syventyä akustiseen suunnitteluun ja akustisiin ratkaisuihin LVI:ssä. Ennen syventymistä käydään läpi akustiikan peruskäsitteitä aina melusta ja äänestä äänenpaineeseen ja absorptioon. Seuraavaksi käsitellään viranomaisohjeita ja lakeja, jonka jälkeen päästään LVI-akustiikkaan käsiksi. Tavoitteena on tarjota lukijalle vastauksia ja ratkaisuja kysymyksiin ja ongelmiin.

2 Akustiikan perusteita

2.1 Ääni ja melu

Kun ilmanpaine vaihtelee staattiseen ilmanpaineeseen nähden, tätä ilmiötä kutsutaan ääneksi. Värähtelyn lähde tuottaa ilman tihentymiä ja harventumia ympäristössään. Kappaleen ollessa edestakaisessa liikkeessä tasapainoasemansa ympärillä sanotaan sen olevan värähdysliikkeessä. Liiketila siirtyy kappaleesta ympärillä olevaan kimmoisaan väliaineeseen, kuten ilmaan, ja etenee siinä aaltoliikkeenä. (2, s. 35; 1, s. 4.)

Melu ja ääni ovat fysikaalisesti sama asia, mutta melua kuvataan ei-toivotuksi ja epämiellyttäväksi ääneksi. Toisin sanoen ääni on melua, kun se koetaan häiritseväksi. Vakavin melun aiheuttamista vammoista on pysyvä ja välitön kuulovaurio, joka voi aiheutua mikäli altistutaan hyvin voimakkaalle impulsiiviselle äänelle, esimerkiksi aseiden laukaus. Melu voi myös esimerkiksi vaikeuttaa nukahtamista ja huonontaa unen laatua. Melussa ei kuitenkaan aina ole kyse siitä, että se aiheuttaisi terveyshaittoja, vaan se voi myös vähentää viihtyisyyttä esimerkiksi työpaikalla tai virkistysalueella. (2, s. 10.)

Ääntä ei voi kuitenkaan suoraan luokitella meluksi tai miellyttäväksi ääneksi, koska jokainen ihminen kokee kuulemansa äänen eri tavalla. Samakin ääni voi eri tilanteessa ja eri mielentilassa olla samalle henkilölle melua tai miellyttävää ääntä. Esimerkiksi rock-konsertti voi yhdelle olla järkyttävää melua, kun taas toiselle se saattaa olla miellyttävää ääntä ja unelmien täyttymys. (2, s. 10.)

Suomessa tärkein melua koskeva säädös on valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta (85/2006), joka tuli voimaan 15.02.2006. Lisäksi työturvallisuuslain (738/2002) 39 §:n mukaan työntekijän altistumista melulle on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei niistä aiheudu haittaa tai vaaraa terveydelle tai turvallisuudelle. (8)

2.2 Taajuus

Ilmanpaineen vaihdellessa, korvan tärykalvo värähtelee ja tästä syntyy kuuloaistimus. Ihminen pystyy kuulemaan ääntä, jonka taajuus on välillä 16 Hz – 20 000 Hz. Parhaiten ihminen kuulee taajuuksien 3 000 Hz ja 4 000 Hz välillä. Äänen taajuuden ollessa alle 16 Hz sitä kutsutaan infraääneksi. Kun taajuus on yli 16 000 Hz, ääntä sanotaan ultraääneksi. Ihminen voi tajuta värähtelyn myös tuntoaistinsa avulla, jolloin värähtelyä kutsutaan tärinäksi. Taajuuden yksikkönä on fyysikko Heinrich Rudolf Hertzin mukaan nimetty hertsi (Hz). Äänen taajuus f saadaan, kun jaetaan värähtelyjen määrä n aikajaksolla T (s), jonka kuluessa värähtelyt on havaittu (2, s. 35; 1, s. 4.):

$$f = \frac{n}{T} \quad (\text{Kaava 1})$$

Esimerkiksi viiden sekunnin aikajaksolla on mitattu 5 000 värähdystä:

$$f = \frac{5000}{5 \text{ s}} = 1000 \text{ Hz}$$

2.3 Ilma-, runko- ja askelääni

Jotta ääni voisi edetä, se tarvitsee väliaineen; tyhjiössä ääni ei voi edetä. Ilmassa etenevää ääntä kutsutaan ilmaääneksi. Sitä aiheuttavat esimerkiksi puhe, musiikki, rakennuksen LVIS-laitteet jne. Taajuus ei vaikuta äänen nopeuteen, mutta väliaineen lämpötila vaikuttaa:

$$c = 331 + 0,6t \quad (\text{Kaava 2})$$

c on äänen nopeus [m/s]

t on lämpötila [$^{\circ}C$]

Esimerkiksi 20 asteen pakkasessa äänen nopeus olisi:

$$c = 331 + 0,6 * (-20) = 319 \frac{m}{s}$$

Huoneen lämpötilassa äänen nopeus on noin. 344 m/s. Nyt äänen nopeudella, taajuudella ja ilmaäänen pitkätaajuuden aallonpituudella on yhteys keskenään (2, s. 35.):

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

(Kaava 3)

f on taajuus [Hz]

c on äänen nopeus [m/s]

λ on aallonpituus [m]

Esimerkiksi jos halutaan selvittää ilmaäänen pitkätaajuuden aallonpituus huoneilmassa 250 Hz taajuudella, saadaan tulokseksi

$$\lambda = \frac{344 \frac{m}{s}}{250 \text{ Hz}} = 1,376 \text{ m}$$

Ääni voi edetä myös kaasuissa, nesteissä ja kiinteissä aineissa, kuten rakennuksen runkorakenteissa tai maakerroksessa. Ilmääni aiheuttaa ympäröivien rakenteiden värähtelyä, jolloin ääni etenee rakennuksen rungossa erityisesti taivutusaaltona. Rakenteissa etenevää ääntä kutsutaan runkoääneksi. Runkoääntä voi synnyttää myös siihen kohdistuneet iskut tai siihen kiinnitetty laite värähtelyllään, esimerkiksi pumppu. Runkoääntä synnyttävät esimerkiksi kävely, esineiden putoaminen ja huonekalujen siirtely. Tällä tavalla syntyvää runkoääntä kutsutaan askelääneksi. (2, s. 36.)

2.4 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenä aistittavaa ilmanpaineen vaihtelua kutsutaan äänenpaineeksi p [Pa]. Äänenpainetta syntyy, kun aaltoliike aiheuttaa poikkeaman väliaineen staattiseen paineeseen. Sen yksikkö on pascal [Pa], kuten paineellakin. Äänenä aistittavat ilmanpaineen vaihtelut staattiseen ilmanpaineeseen nähden ovat hyvin pieniä. Esimerkiksi ilmakehän ilmanpaine on 101,3 kPa ja pienin ihmisen kuulon aistittavissa oleva ilmanpaine, eli kuulokynnyksen, vaihtelu on 20 μ Pa. Äänenpaineen ollessa noin 20 Pa muuttuu ääni-aistimus kipukynnykseksi. Äänenpaineta on hankala käyttää suunnittelu- tai laskentatyössä, koska äänenpaineet ovat lukuarvoina suhteellisen pieniä, mutta kuulokynnyksen ja kipukynnyksen välinen ero on suhteessa toisiinsa erittäin suuri. Tästä syystä tarkasteltavaa äänenpainetta verrataan vertailupaineeksi otettuun kuulokynnykseen. (2, s. 36; 9.)

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (\text{Kaava 4})$$

p on tarkasteltava äänenpaine, Pa

p_0 on vertailuäänenpaine, 20 μ Pa

Esimerkiksi jos tarkasteltava äänenpaine on 15 Pa, tulokseksi saadaan

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{15 \text{ Pa}}{20 \mu \text{ Pa}} = 117,5 \text{ Pa}$$

Äänenpainetaso L_p	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto yöaikaan
35 dB	Toimistohuoneen taustamelu
45 dB	Pankkisalın taustamelu
55 dB	Toimisto, jossa kuuluu puhetta
65 dB	Normaali puheääni 1 metrin päässä
75 dB	Voimakas puheääni 1 metrin päässä
85 dB	Suurtalouskeittiössä koneiden käydessä
95 dB	Sinfoniaorkesterin voimakkaimmat äänet
105 dB	Kovaäänisen rock-konsertin aikana

Kuva 1. Eri äänitasoja rakennuksen sisällä (2, s. 37).

Desibeliasteikon logaritmisuus on otettava huomioon vertailtaessa äänilähteiden voimakkuuksia toisiinsa. Mikäli tilassa on kaksi samaa äänenvoimakkuutta tuottavaa äänilähdettä, niiden samanaikaisesti toimiessa äänenpainetaso on 3 dB voimakkaampi kuin yhden laitteen ollessa toiminnassa. Jos toisen äänilähteen tuottama äänenpaine olisi vähintään 10 dB korkeampi, se käytännössä määrittää laitteiden yhdessä tuottaman äänenpainetason, eli hiljaisemman äänilähteen vaimentamisesta ei olisi hyötyä. Sen takia meluntorjunnassa on tärkeintä paikallistaa voimakkain äänilähde ja pyrkiä vähentämään sen tuottamaa äänenpainetta. Usean äänilähteen tuottama äänenpaine lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p,1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p,2}}{10}} + \dots \right) = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \quad (\text{Kaava 5})$$

Melun ja äänen intensiteetti, eli äänekkyyys, mitataan desibeleinä (dB). Desibeliasteikko on logaritminen, eli kolmen desibelin lisäys äänitasossa merkitsee äänen intensiteetin kaksinkertaistumista. Esimerkiksi normaalin keskustelun äänitaso on 60 dB (kuva 1) ja huutamisen 85 dB. Vaikka äänien ero on 25 dB, on huutaminen 50 kertaa intensiivisempää. (9; 10.)

2.5 Taajuuskaistat

Akustiikassa äänilähteiden tuottamat äänenpaineet eroavat eri taajuuksilla ja tästä syystä äänen taajuusjakauma jaetaan taajuuskaistoihin. Yleensä käytetään oktaavikaistoja ja kolmannesoktaavikaistoja. Taajuusalue eli kaistanleveys, jolta mitattu ääni sisältyy taajuuskaistalla ilmoitettuun äänenpainetasoon, on aina suhteellisesti sama osuus keskitaajuudesta. Kuuloaistin ominaisuuksien takia taajuuskaistoja määritellään. Oktaavikaistan taajuusalue hertseinä on noin 70 % ja kolmannesoktaavikaistan noin 23 % keskitaajuudesta. Terssikaistan eli kolmannesoktaavikaistan keskitaajuus saadaan, kun kerrotaan edellinen arvolla $\sqrt[3]{2}$. Äänenkorkeuden kasvaessa oktaaviin taajuus kaksinkertaistuu. Kuuloaistimukseen yhden oktaavin muutos tuntuu kuitenkin samalta, vaikka taajuuksien erotus hertseinä muuttuu jokaisen muutoksen aikana.

LVIS-laitteiden ja muiden erilaisten koneiden äänitiedot ilmoitetaan oktaavikaistoittain, kun taas rakennusten ja rakenteiden äänimittaukset suoritetaan kolmannesoktaavikaistoittain keskitaajuudesta 50 tai 100 Hz keskitaajuuteen 3 150 tai 5 000 Hz. Laitteiden ominaisuudet ilmoitetaan keskitaajuuksilla 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz ja 4 000 Hz. Melumittauksissa käytetään kolmannesoktaavikaistoja sen takia, että ne antavat tarkemmat tulokset ja käsityksen melusta kuin oktaavikaistoittain tehdyt mittaukset. (2, s. 37–38.)

Keskiäänitasolla tarkoitetaan jatkuvaa äänitasoa, jonka tehollisarvo on sama kuin vaihtelevan äänitason logaritminen keskiarvo määritetyllä ajanjaksolla. Hetkelliset äänitason huiput korostuvat, kun äänitasoja lasketaan. Keskiäänitason arvo on riippuvainen äänilähteen tuottaman äänen kestoajasta ja sen mittaamiseen käytetystä ajasta. Mitä pidempään mitataan melulähteen tuottamaa ääntä verrattuna sen toiminta-aikaan, sitä pienempi keskiäänitulos saadaan. Keskiäänitaso voidaan laskea hetkellisistä äänitasoista ja niitä vastaavista kestoajoista seuraavalla kaavalla:

$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \sum_i T_i * 10^{L_{A,i}/10} \right\} \quad (\text{Kaava 6})$$

$L_{A,eq,T}$ on pitkäaikainen keskiäänitaso, dB

T on mittausaikaväli

$L_{A,i}$ on hetkellinen äänitaso, dB

T_i on hetkellisen äänitason mittaamiseen käytetty aika

(2, s. 40–41.)

Kaavalla voidaan esimerkiksi arvioida ostoskeskuksen aiheuttaman ympäristömelun keskiäänitasoa välillä klo 7–22 lyhyiden äänitasomittausten perusteella. Jos aikavälillä 7–15 (8 tuntia) äänitaso on 54 dB ja välillä 15–22 (7 tuntia) 45 dB, saadaan kaavan 6 avulla 15 tunnin keskiäänitasoksi

$$L_{A,eq,07-22} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{15} \left(8 * 10^{\frac{54}{10}} + 7 * 10^{\frac{45}{10}} \right) \right\} = 52 \text{ dB}$$

2.6 Jälkikaiunta-aika ja absorptio

Jälkikaiunta-aika kertoo, kuinka nopeasti äänenpaine laskee 60 dB tilassa sen jälkeen, kun äänilähde on sammutettu. Olemassa olevan tilan jälkikaiunta-aika saadaan selville voimakkaan äänilähteen avulla niin, että se sammutetaan äkillisesti ja sitten mitataan äänenpainetason laskuun kuluva aika. Tarkemmat ohjeet ovat standardissa ISO 354.

Erityisesti esimerkiksi elokuvateattereissa tai äänitysstudioilla on tärkeää, että jälkikaiunta-aika on lyhyt, kun taas esimerkiksi kirkoissa jälkikaiunta-aika voi olla suurempi. Tilan jälkikaiunta-aika voidaan laskea käyttäen kaavaa 7. (2, s. 50; 9.)

$$T_{60} = 0,16 \frac{V}{A} \quad (\text{Kaava 7})$$

T_{60} on jälkikaiunta-aika

V on tilavuus, m^3

A on absorptioala

Esimerkiksi jos tilavuus on 15 m^3 ja absorptioala on $10 \text{ m}^2\text{-Sab}$, saadaan tulokseksi

$$T_{60} = 0,16 \frac{15}{10} = 0,24$$

Absorptioala kertoo huoneessa olevan absorboivan materiaalin (kuva 2) määrän neliömetreinä. Absorptioalan yksikkönä on $[\text{m}^2\text{-Sab}]$, jotta se on helpompi erottaa tavallisesta neliömetristä. Absorptioala saadaan kaavalla, jossa materiaalin absorptio-suhde kerrotaan niiden pinta-alalla. Tämän avulla voidaan laskea huoneen absorptioala kullakin oktaavikaistan keskitajuudella. (2, s. 49.)

$$A = \alpha_1 S_1 \quad (\text{Kaava 8})$$

A on absorptioala, $\text{m}^2\text{-Sab}$

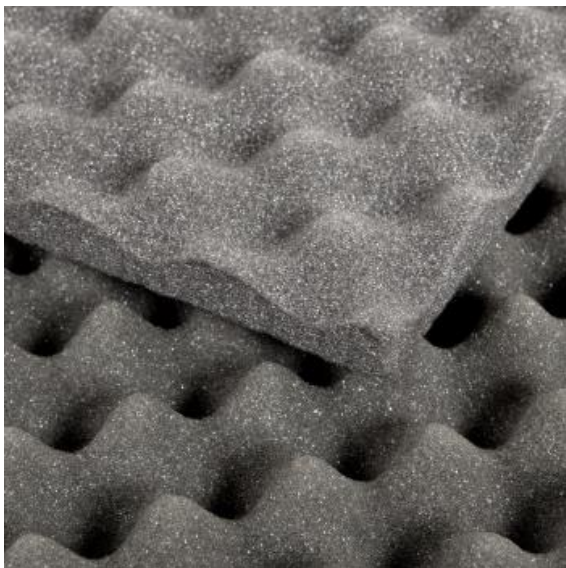
α_1 on absorptiosuhde

S_1 on materiaalien pinta-ala, m^2

Esimerkiksi jos materiaalin absorptiosuhde on 0,75 ja pinta-ala on 16, materiaalin absorptioala on 12. Koko huoneen absorptioalan selvittämiseksi lasketaan sen kaikkien pintojen absorptioalat yhteen:

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (\text{Kaava 9})$$

Ääneneristys ja absorptio sekoitetaan arkikielessä usein toisiinsa. Absorptiossa tarkoituksena on vaimentaa huoneen sisällä syntyvää ääntä, ja se on lähinnä pintamateriaalien ominaisuus. Mitä suurempi absorptiosuhde on, sitä vähemmän se säteilee ääntä takaisin huoneeseen. Ääneneristyksen tehtävänä sen sijaan on estää äänen siirtyminen huoneesta toiseen. (2, s. 46.)



Kuva 2. Kuvan profiloitu vaahtomuovi on hyvin absorboiva materiaali, jota käytetään esimerkiksi studioissa (17)

2.7 Äänen heijastuminen

Ääniaallon kohdatessa esteen heijastuu se samalla tavalla kuin valo sen pinnasta. Heijastusta ei kuitenkaan tapahdu, jos esteen pinta on liian pieni ääniaallon suuruuteen nähden. Tällöin ääniaalto ei juurikaan reagoi esteeseen vaan se sivuuttaa sen. Mikäli este on suhteessa saman kokoinen ääniaallon suuruuteen, tulee lopputuloksesta risti-riitainen osan ääniaallosta jatkaessa ja osan heijastuessa. Riittävän suuren esteen tullessa ääniaallon eteen esteen taakse jää äänivarjo. Siinä äänitaso on alhaisempi kuin samalla etäisyydellä oleva ääniaalto ilman estettä, ja sitä käytetään erityisesti kaavoitukseen liittyvässä meluntorjunnan suunnittelussa.

Matalilla äänitasoilla este ei heijasta yhtä hyvin kuin korkeilla äänitasoilla. Esteillä ei kuitenkaan voida täysin poistaa voimakasta ääntä, koska varjoääni kohoaa enintään 20–30 dB. Heijastukseen vaadittavien ehtojen täytyessä noudattaa ääni käytännössä samaa heijastussääntöä kuin valo. (1, s. 38–44.)

3 Lainsäädäntö ja määräykset

Yhteiskunta ei toimisi nykyisellä tavallaan ilman lainsäädäntöä ja määräyksiä. Myös akustinen suunnittelu tarvitsee yhteiset pelisäännöt. Tätä varten Suomessa on käytössä erilaisia lakeja, määräyksiä ja säädöksiä. Tässä luvussa käydään läpi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1, standardi SFS 5907 ja Valtioneuvoston asetus 85/2006. Näiden lisäksi akustiikkaan liittyviä määräyksiä ja suosituksia sisältävät esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman osa D2 ja Valtioneuvoston päätös 993/1992.

3.1 RakMK C1 – Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa

Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK) C1 (11) käsittelee uudisrakennusten ääneneristystä, jälkikaiunta-aikaa ja LVIS-laitteiden sallittavia äänitasoja. Ympäristöministeriö on rakennuslain 13 § (557/89) nojalla antanut määräykset ja ohjaukset tässä rakentamismääräyskokoelman osassa, joka tuli voimaan 1. päivänä lokakuuta 1998. Vuonna 1984 annetut määräykset ääneneristyksistä korvattiin, mutta niiden soveltamista sallittiin rakentamisessa, jos rakennuslupaa oli haettu ennen 1 päivää tammikuuta 2000. Ääneneristämisen ja meluntorjunnan kannalta tämä tarkoittaa seuraavaa:

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että melu jolle rakennuksessa tai sen lähellä olevat altistuvat, pysyy niin alhaisena, ettei se vaaranna näiden henkilöiden terveyttä ja että se antaa mahdollisuuden nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa.” (11)

Rakentamismääräyskokoelmassa annetaan desibeliarvot vaadituille äänitasoille. Näiden lisäksi rakennuksen on täytettävä niin sanottu olennainen vaatimus. Sen on täyttyvä kaikissa olosuhteissa kunnossapidolla koko rakennuksen käyttöiän aikana. Vaatimusten katsotaan täyttyneen seuraavin ehdoin:

”Rakennus suunnitellaan ja rakennetaan näissä määräyksissä ja ohjeissa esitetyllä tavalla, tai vaatimuksen täyttyminen todennetaan tapauskohtaisesti muulla luotettavaksi osoitetulla tavalla ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käytön.” (11)

Näitä edellämainittuja muita luotettavaksi osoitettuja tapoja ovat esimerkiksi laboratoriomittaukset ja laskentamenetelmät. Talotekniikan osalta olennaisimmat ohjearvot on esitetty seuraavissa taulukoissa (kuvat 3 ja 4):

	$L_{A,eq,T}$ (dB)	$L_{A,max}$ (dB)
– Keittiö	33	38
– Muut asuinhuoneet	28	33

Kuva 3. Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu ääniteho asunnossa (11)

	$L_{A,eq,T}$	$L_{A,max}$
– Potilashuoneissa, lasten lepo huoneissa ja vastaavissa tiloissa	28	33
– Luokkahuoneissa, toimistohuoneissa ja vastaavissa tiloissa	33	38

Kuva 4. Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu ääniteho muualla kuin asunnossa (11)

Esitetyt ohjearvot eivät koske ääntä, joka aiheutuu samassa huoneistossa tapahtuvasta vedenlaskusta. Nämä ohjearvot saa ylittää esimerkiksi tehostettaessa ilmanvaihtoa. Tehostuksen aikana ohjearvot saa ylittää 10 dB. LVIS-laitteiksi lasketaan esimerkiksi hissit, vesi- ja viemärlaitteet, kompressorit ja ilmanvaihtolaitteet. Niihin voidaan myös rinnastaa esimerkiksi keskuspolynimurit ja pesukoneet. Rakennusta palvelevien tai rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttama keskiäänitaso saa olla enimmillään 45 dB saman tai lähellä olevan rakennuksen ikkunan ulkopuolella, piha- maalla tai muussa vastaavassa paikassa melulle herkillä alueilla, esimerkiksi asuin- alueella. (11)

Ensimmäinen ääneen liittyvä rakentamismääräyskokoelma julkaistiin vuonna 1975 ja 1984 ennen kuin uusin vuoden 1998 julkaisu korvasi edelliset. Aiempia rakentamis- määräyskokoelmia täydensi rakentamismääräyskokoelman osa C5, jossa esitettiin hyväksyttäviä ratkaisuja sisältäviä ohjeita, mutta se kumottiin osan C1 uudistuksen yhteydessä vuonna 1998. Ennen vuotta 1975 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry julkaisi vuosina 1967 ja 1971 Ääneneristysnormit. Ennen RIL ry:n julkaisemaa ensimmäistä ohjetta Ääneneristysnormit ei Suomessa ollut teknisinä mittalukuina

annettuja ohjeita tai määräyksiä rakennusten ääniolosuhteista. Oli kuitenkin suosituksia, joita esitettiin akustiikan alan oppikirjoissa ja tutkimuskirjallisuudessa 1930-luvulta saakka. Erilaisissa laeissa sen sijaan oli erilaisia määräyksiä rakennusten ääniolosuhteista jo vuodesta 1920 alkaen, kun julkaistiin laki eräistä naapuruussuhteista. Vuonna 1932 asemakaavalakiin liitettiin rakennussääntö, joka edellytti asuinhuoneistojen suojaamista tyydyttävästi sekä ylä- että alapuolisten huoneistojen melulta. Vuonna 1958 asuinhuoneistot oli rakennettava niin, että niissä on tyydyttävä äänen-eristys. Tähän velvoitti kyseisenä vuonna rakennuslain nojalla annettu rakennusasetus. (2, s. 22–23.)

3.2 Standardi SFS 5907:2004

Vuonna 2004 julkaistun standardin yhtenä tarkoituksena on auttaa suunnittelijoita ja urakoitsijoita täydentämällä Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 annettuja ohjeita ja määräyksiä. Standardissa on esitetty ohjearvoja tiloille ja rakennustyypeille, joita ovat asunnot, majoitustilat, vanhusten palvelutalot, toimistorakennukset, oppilaitokset, päiväkodit, terveydenhoitoalan rakennukset ja teollisuustyöpaikat. Kyseiset ohjearvot koskevat esimerkiksi LVIS-laitteiden aiheuttamia äänitasoja rakennuksen ulko- ja sisäpuolella. Niiden perusteella suunnittelijat voivat valita rakennukselle esimerkiksi oikeanlaiset rakennetyypit. (2, s. 20; 12.)

Hyvän akustiikan kannalta tärkeimmät valinnat tehdään jo suunnitteluvaiheessa. Asuinrakennukset pois lukien hankkeen suunnittelu- ja toteutusorganisaation vastuulla on määritellä akustiset tavoitteet rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Tästä syystä nykypäivänä laaditaan erillisiä akustisia suunnitelmia, josta huolehtii pääsuunnittelija. Samalla pääsuunnittelijan on huolehdittava, että suunnitelma noudattaa tämän standardin ohjeita. (12)

Standardi sisältää erilaisten rakennusten akustisen luokittelun, jonka tarkoitus on helpottaa esimerkiksi suunnittelijan ja rakennuttajan työtä. Järjestelmä jakaa tilat neljään eri luokkaan A...D (kuva 5):

- Luokat A ja B mahdollistavat ääniolosuhteiltaan paremmat ominaisuudet kuin vaaditaan.
- Luokka C vastaa vähimmäistasoa eli noudattaa pitkälti rakentamismääräyskokoelman osassa C1 esitettyä tasoa.
- Luokka D on tarkoitettu vanhoille rakennuksille. Vuosina 1967–1998 rakennetut asuinrakennukset useimmiten täyttävät tämän luokan vaatimukset. Uudisrakennuksien tulee täyttää vähintään luokan C vaatimukset. (12)

Tila	Vaatus	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
Asuinhuoneissa	$L_{A,eq,T}$	24	24	28	30
	$L_{A,max}$	29	29	33	35
Keittiössä	$L_{A,eq,T}$	29	29	33	35
	$L_{A,max}$	34	34	38	40
Saman tai läheisen rakennuksen ikkunan ulkopuolella, parvekkeella, pihamaalla tai muussa vastaavassa paikassa asuinalueella ja muilla melulle herkillä alueilla	$L_{A,eq,T}$	40	40	45	45

Kuva 5. Tässä kuvassa näkyy standardin esittämät ohjearvot LVIS-laitteiden aiheuttamille äänitasoille (12)

Standardi ei kuitenkaan ole määräys vaan suositus, jonka käyttö on vapaaehtoista. Se on myös tarkoitettu asiakirjaksi. Esimerkiksi jos vuokrasopimuksessa viitataan standardiin, ovat sen sisältämät suositukset juridisesti sitovia. (2, s. 20.)

3.3 Valtioneuvoston asetus 85/2006

Työpaikkojen meluntorjuntaa varten on valtioneuvoston asetus 85/2006, jonka taustalla on Euroopan yhteisön meludirektiivi 2003/10/EY. Asetus astui voimaan 15. päivänä helmikuuta 2006. Asetuksen tarkoituksena on työntekijöiden suojaaminen työssä esiintyviltä vaaroilta ja haitoilta, jotka aiheutuvat tai voivat aiheutua melusta. Sen mukaan päivittäisen melualtistuksen alempi toiminta-arvo on 80 dB ja ylempi toiminta-arvo 85 dB. Ensisijaisesti asetuksen tarkoituksena on suojata työntekijää suorilta terveyshaitoilta kuten kuulovauriolta, mutta sen tarkoitus on myös lisätä työpaikan viihtyisyyttä, tuottavuutta, turvallisuutta ja kommunikaation edistämistä. (2, s. 21; 13.)

4 LVI-järjestelmät

Äänen syntymisen estäminen oikein suunnittelulla tulee edullisemmaksi ja on järkevämpää kuin yrittää vaimentaa ääntä erilaisilla keinoilla. Hyvä äänitekniinen lopputulos saadaan, kun eri osa-alueiden suunnittelijat ja toteuttajat tekevät tiivistä yhteistyötä. Tässä luvussa käydään syitä äänien syntyyn ja ääniteknistä oikein suunnittelua. (6)

4.1 Vesijohtolaitteet

4.1.1 Äänilähde

Vesijohtolaitteiden suurin melunlähde on käyttöpisteessä oleva laite kuten hana. Vesijohtolaitoksissakin on voimakkaita äänilähteitä kuten pumppuja. Pääasiassa vesijohtolaitteista aiheutuva ääni on runkoääntä, minkä takia sen meluntorjuntaan käytettävät keinot eroavat oleellisesti ilmanvaihtolaitosten meluntorjuntaan käytettyihin keinoihin verrattuna. Melua syntyy myös veden virtauksesta, sen aiheuttamista äkillisistä iskuista ja sen putoamisesta altaaseen. (1, s. 395–396.)

Veden virtauksesta syntyvät äänet johtuvat vesijohtoverkoston liian suuresta painetasosta. Liian suuri paine aiheuttaa veden virtausnopeuden nousemista, jolloin virtausäänet voimistuvat. Siitä syntyvä ääniteho on käytännössä verrannollinen virtausnopeuden kuudenteen potenssiin, eli pienikin virtausnopeuden nousu lisää äänitehoa tuntuvasti. Paineiskuihin vaikuttaa vesijohtoverkoston paine. Mitä alhaisempi on paine, sitä hiljaisempi ääni syntyy, kun esimerkiksi hana suljetaan. Pumppujen äänet ovat mekaanisista osista johtuvaa tärinää, jonka saattaa aiheuttaa esimerkiksi laakereiden epätasaisuus. Pumpusta aiheutuva värinä siirtyy kannakkeiden kautta rakenteeseen ja putkistojen kautta muualle rakennukseen aiheuttaen melua. (6)

4.1.2 Suunnittelu ja sijoittaminen

Vesilaitteiden ja putkistojen suunnittelun pohjana ääniteknisesti on koko rakennuksen vesijohtoverkoston mahdollisimman alhainen ja vakaa painetaso. Tällä tavalla kalusteelta saadaan 100 %:n normivirtaama pienemmällä paineella kuin normaalilla suunnittelulla. Perinteisen suunnittelun lähtökohtana on virtausteknisesti epäedullisimmalta

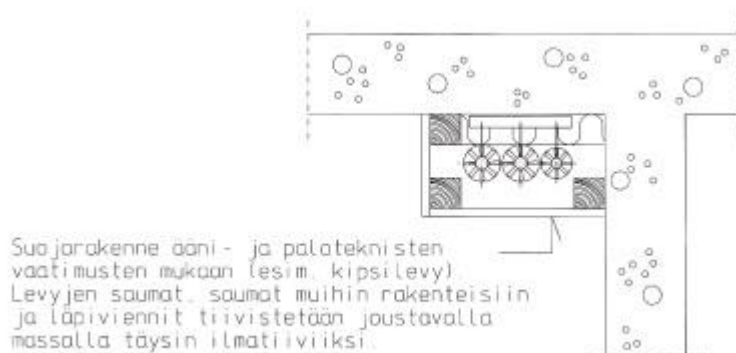
vesikalusteelta saatava 100 %:n normivirtaama. Yleensä ei oteta tarpeeksi huomioon painetason nousua alkupäätä kohti putkiston mitoituksessa, mikä johtaa kohtuuttoman suureen painetasoon koko rakennuksessa ja erityisesti alimmissa kerroksissa. Alhaisen painetason saamiseksi veden virtausnopeuden pitäisi olla pieni, koska alhainen painetaso alentaa myös paineiskujen aiheuttamaa äänihaittaa. Esimerkiksi jos vesijohtoverkoston kokonaispaine on yli 350 kPa, syntyy helposti äänihaittaa ja verkoston painetta olisi syytä alentaa. Useimmiten liian korkeaa painetta alennetaan paineenalennusventtiileillä. Siten suunnittelussa vesijohtoverkosto pitäisi mitoittaa niin, että rakennuksen epäedullisimman huoneiston kohdalla verkoston paine olisi mahdollisimman alhainen, esimerkiksi 300 kPa, jos rakennuksessa on muoviset kytkentäjohdot. (6)

Aina ei kuitenkaan riitä rakennuskohtainen paineenalennusventtiili. Alemmissa kerroksissa saattaa silti olla paineenalennustarvetta, jolloin voidaan asentaa huoneistokohtaiset paineenalennusventtiilit. Huoneistokohtainen alin mahdollinen paine riippuu huoneiston vesilaitteiden painehäviöiden mukaan. Huoneiston vesijohdot kannattaa toteuttaa jakotukkiperiaatetta hyödyntäen. Tämä tarkoittaa, että vesijohtoverkoston runkolinjoista (KV, LV, LVK) tulee huoneistoon vain yhdet runkovesijohdot, jotka liitetään jakotukkeihin ja jakotukeilta lähtee omat, väljästi mitoitettut kytkentäjohdot jokaiselle vesikalusteelle. Jakotukit kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskeisesti vesikalusteisiin nähden. (6)

Putkimateriaalilla ei ole vaikutusta äänen voimakkuuteen, mutta äänen syyhyn saattaa olla. Metalliset putket johtavat ääntä paremmin kuin muoviset suojaputkeen asennetut putket. Äänitasot pysyvät kuitenkin alhaisina sekä metallisilla että muovisilla putkilla, kun mitoitus on tehty väljästi. (6)

Käyttövesiputket koteloidaan hormiin, joka rajoittuu ääniteknisesti toisarvoiseen tilaan, esimerkiksi porrashuoneeseen. Jos vesijohdot on suunniteltu alhaiselle painetasolle, ovat lämpöeristettyjä ja hormissa ei ole viemäreitä, riittää koteloimiseen yksinkertainen levyrakenne, esimerkiksi kipsilevystä tehty kotelointi. Pitää kuitenkin muistaa ottaa huomioon palotekniset vaatimukset. Kotelon saumat ja läpiviennit tiivistetään huolellisesti elastisella tiivistemassalla. Mikäli seinärakenteessa on useampia levykerroksia, levytetään rakenne limittäin ja jokaisen levykerroksen läpiviennit ja saumat tiivistetään erikseen. (Kuva 6.) Vesijohtojen ollessa samassa hormissa viemäreiden kanssa

määräytyy rakenteen äänieristävyys viemärin mukaan, koska se aiheuttaa enemmän ääntä. (6)



Kuva 6. Esimerkki vesijohtojen koteloinnista. Tässä johdot on kannakoitu betonirakenteesta (6)

Uuden rakentamismääräyskokoelman osan G1 julkaisun myötä asuinkerrostalon kerroskorkeus muuttui 2,8 metristä 3,0 metriin. Tämä mahdollistaa lisätyn 200 mm:n hyödyntämisen talotekniikalle joko alakattona tai korokelattiana, jolloin käyttövesijohdot voidaan asentaa piiloon. Tämä mahdollistaa hormitilan sijoittamisen aiempaa helpommin ääniteknisesti hyvää paikkaan, jolloin asuintilojen suunnittelu ei rajoitu. Tällainen paikka on esimerkiksi porraskäytävään avautuva tekniikkakomero. (6)

4.1.3 Kiertovesipumput

Kiertovesipumpusta johtuva äänihaitta on yleensä lähtöisin tärinästä, joka syntyy laakereiden epätasaisuudesta. Oikein mitoitettu ja ehjä kiertovesipumppu voidaan liittää suoraan putkistoon. Sen kierrosnopeuden olisi syytä olla mahdollisimman alhainen ja ominaiskäyrän mahdollisimman loiva. Kiertovesipumppu mitoitetaan kiertovesiverkoston virtaaman ja painehäviön avulla niin, ettei virtausnopeus nouse liian suureksi, eli myös kiertovesiverkosto olisi syytä mitoitaa väljäksi kuten lämminvesiverkostokin. Tällä tavalla vältetään tarpeetonta virtauksen kuristumista, jolloin verkoston äänitaso pysyy alhaisena. (6)

4.1.4 Säästöventtiilit

Linjasäästöventtiilien sijainnilla on oleellinen vaikutus lämpimän käyttöveden kierto-
johdon äänihahtaan. Tästä syystä ne sijoitetaan tilaan, jossa niistä aiheutuva ilmaääni
ei häiritse ja mahdollisimman kauas asuinhuoneistoista runkoäänen etenemisen
estämiseksi. Näitä tiloja ovat esimerkiksi lämmönjakohuoneet, varastot ja käytävät. (6)

4.1.5 Kalusteet

Käytettävien kalusteiden kohdalla suositellaan, että ne kuuluisivat ääniryhmään 1 ja
olisivat aina tyyppihyväksytyjä. Vesikalusteita valittaessa olisi syytä huomioida, että
mikäli käytetään korkeampaa painetta kuin mittauksissa, kalusteesta aiheutuva ääni
lisääntyy mittaustuloksiin verrattuna, eli tämä johtaa ääniongelmien syntyyn. Tällöin
olisi syytä asentaa paineenalennusventtiili. Ääniteknisesti on siis erittäin tärkeää, että
vesijohtoverkoston paine säädetään oikein. Mikäli kaluste asennetaan johonkin
kiinteään alustaan, esimerkiksi pesupöytään, on kiinnitys tuettava niin, ettei kalusteen
värähtely leviä alustaan ja sitä kautta aiheuta ääntä. (6)

4.1.6 Kannakointi ja läpiviennit

Tärkeintä käyttövesiputkien kannakoinnissa on, että kannakkeet on kiinnitetty tarpeeksi
kestävään rakenteeseen, esimerkiksi betoniseen välipohjaan. Kannakkeita ei kannata
kiinnittää kevyisiin väliseiniin. Tämä voidaan välttää, jos hormitilaan asennetaan beto-
nisiin välipohjiin kiinnitettävä tukeva teräsprofiili, johon kannakkeet voidaan kiinnittää.
(7) Kannakoinnin maksimivälit esitetään kuvassa 7.

Teräsputket		Kupariputket		Muoviputket		PVC, PEH, PEM		PEL, PEX, PB		Monikerrosmuoviputket ²⁾	
DN	mm	d _u	mm	d _u	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
< 20	2500	8...15	400...600 ¹⁾	< 20	700	300	< 20	1200			
20	2500	< 22,0	1250	20	700	300	20	1300			
25	2500	22,0	2500	25	900	400	25	1300			
32	2500	28,0	2500	32	1000	400	32	1400			
40	2500	35,0	2500	40	1100	500	40	1400			
50	3000	42,0	2500	50	1200	500	50	1500			
65	4000	54,0	2500	63	1400	600	63	1500			
80	4000	63,0	2500	75	1500	600	75	1500			
100	5000	76,1	3000	90	1600	700					
125	5000	88,9	3000	110	1700	700					
		108,0	3000								

¹⁾ pinta-asennuksessa lämmitysputket 400...500 mm, käyttövesiputket 600 mm, hehkutettu kupariputki enintään 300 mm

²⁾ pinta-asennuksessa putket 500...800 mm

Kuva 7. Vaakaputkien kannakoinnin maksimivälit +20 °C:n lämpötilassa (7)

Kevyen levyrakenteisen seinän tai välipohjan virtausputken ja läpiviennin väli tiivistetään esimerkiksi solukumikourulla. Putkieristeen on oltava tarpeeksi tiukka, jotta putken tai rakenteen liike ei liikuta sitä pois reiästä. Mikäli mahdollista lisätiivistystä tarvitaan, käytetään tiivistysmassaa. Jos kevyt rakenne on osastoiva rakenne, tulee läpiviennin täyttää kyseisen rakenteen palon- ja ääneneristävyydelle asetut vaatimukset. (3)

Betonirakenteisiin osastoimattomiin seiniin tai välipohjiin tehdään läpiviennit niitä varten varattuihin aukkoihin. Ennen jälkivalua läpivientiä varten asennetaan läpimeneväputki ja suojaputki. Mikäli valu tehdään ennen putken asennusta, asennetaan suojaputki ennen sitä. Jälkivalu tehdään suojaputken ympärille seinissä ja välipohjassa se tehdään kartiomaiseksi. Tällä tavalla varmistetaan, että putki pysyy paikallaan. Erillistä suojaputkea ei kuitenkaan tarvita, jos reikä tehdään poraamalla oikean kokoiseksi. Tiili-seinässä läpivienti tehdään joko jättämällä muurausvaiheessa aukko sen kohdalle tai jälkeinpäin poraamalla siihen oikean kokoinen aukko. (3)

4.2 Viemärit

4.2.1 Äänilähde

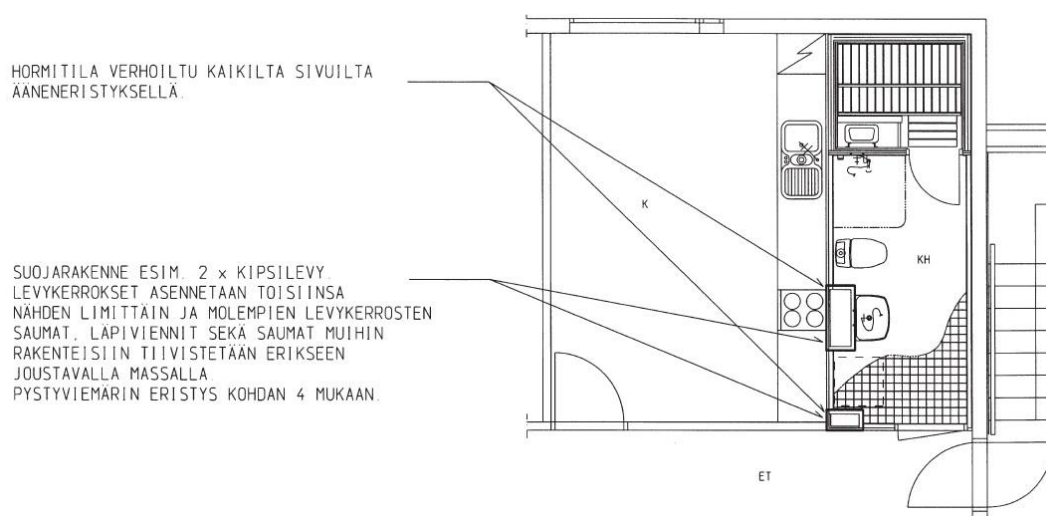
Yleisin äänenaiheuttaja viemäreissä on jäteveden virtaus. Siinä äänen voimakkuuteen vaikuttaa jäteveden koostumus, eli jos jätevesi sisältää WC-paperia, on se raskaampaa, ja näin ollen siitä syntyy paljon enemmän melua kuin ainoastaan nestettä sisältävä jätevesi. Myös putouskorkeus vaikuttaa oleellisesti aiheutuvan melun äänen-voimakkuuteen, eli mitä korkeammalta jätevesi putoaa, sitä kovempi ääni siitä syntyy. Näin ollen melu kuuluu useimmiten pystykokoojaviemäriin pohjakulmassa. Jäteveden virratessa alas pystykokoojaviemäriä syntyy voimakas iskuääni sen osuessa pohjakulmaan. Iskuääni johtaa kannakkeiden ja ilman kautta eteenpäin rakennukseen. (6)

4.2.2 Suunnittelu ja sijoittaminen

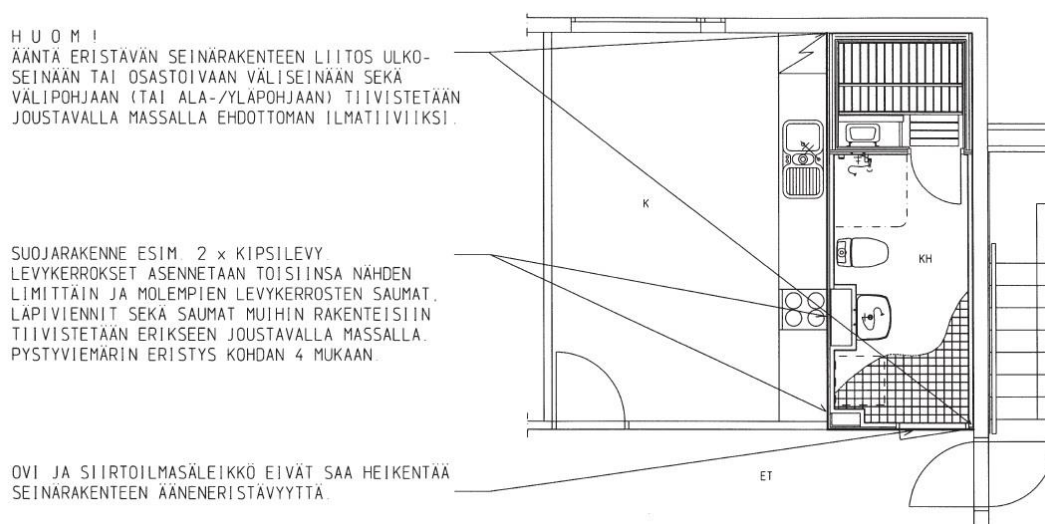
Pystykokoojaviemärit pyritään asentamaan hormitilaan tai vastaavaan, ei niin tärkeään, tilaan (esimerkiksi WC, vaatehuone) ja osastoiviin betonisiin seinärakenteisiin. Hormitilan seinät verhoillaan suojarakenteella, mikäli ne eivät ole betonisia seinä-

rakenteita vasten. Pääasiassa pystykokoojaviemärin ääniteknisessä osastoinnissa on kaksi eri perusvaihtoehtoa:

- Hormitila/välitila verhoillaan kauttaaltaan suojarakenteella (kuva 8).
- Verhoillaan ulkopuolelta suojarakenteella sen huonetilan seinärakenteet, jossa hormitila sijaitsee (kuva 9).



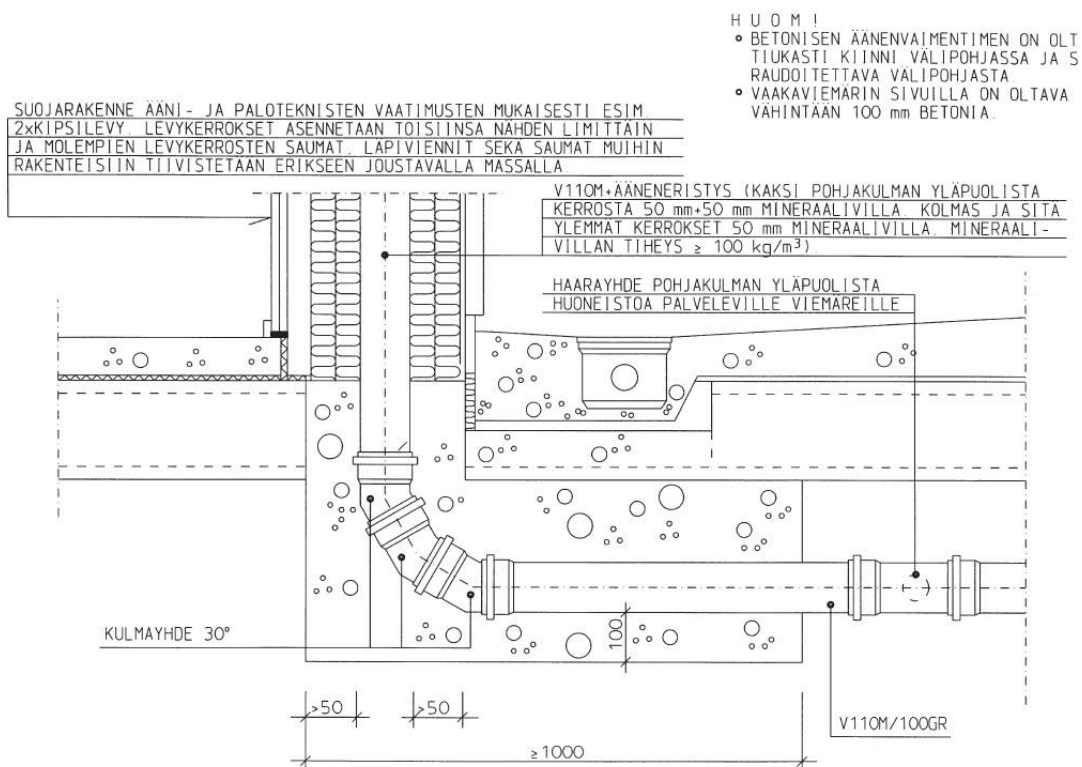
Kuva 8. Kuvassa esitetty ensimmäinen perusvaihtoehto, jossa hormitila on verhoiltu suojarakenteella sisäpuolelta (6)



Kuva 9. Kuvassa esitetty toinen perusvaihtoehto, jossa kylpyhuoneen ja keittiön välinen seinä on verhoiltu suojarakenteella (6)

Suojarakenteena voidaan käyttää esimerkiksi kahta päällekkäistä kipsilevyä, joiden yhteispaino on alle 18 kg/m². Suojarakenteen on oltava täysin ilmatiivis. Levykerrokset asennetaan limittäin ja kaikki saumat ja läpiviennit tiivistetään erikseen joustavalla massalla, esimerkiksi akryylimassalla. Muuten ääni pääsee oleskelutiloihin vuoto- kohdista ja saattaa pahimmassa tapauksessa pilata koko ääneneristysten. (6)

Pystyviemärit sijoitetaan niin, ettei pystyosalla ole sivusiirtoja ja pohjakulman on tultava mahdollisimman loivana betonisen alapohjan alapuolelle (kuva 10). Pohjakulma varustetaan betonisella äänenvaimentimella, jos rakennuksessa on vähintään kaksi kerrosta ja pystykokoojaviemäri on alapuolella olevan huoneiston sisäpuolella. Betonisen äänenvaimentimen toteutustavasta sopivat LVI- ja rakennesuunnittelija, ja lopullinen päätös esitetään suunnitelmissa. (6)



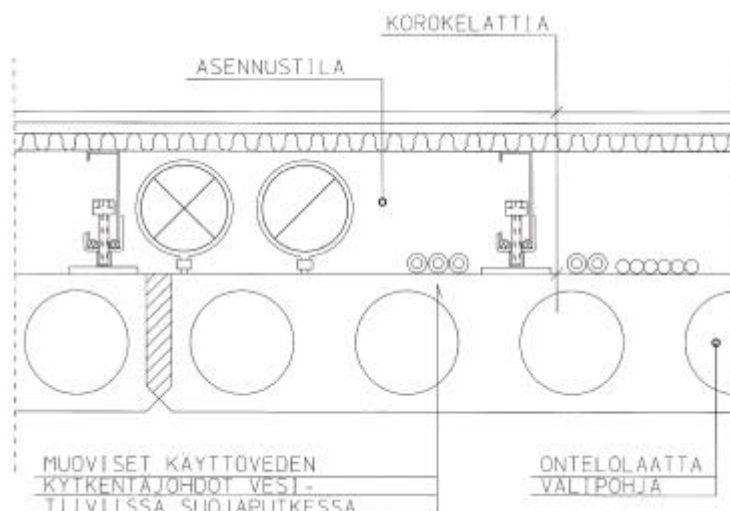
H U O M !

- BETONISEN ÄÄNENVAIMENTIMEN ON OLT TIUKASTI KIINNI VÄLIPOHJASSA JA S RAUDOITETTAVA VÄLIPOHJASTA
- VAAKAVIEMÄRIN SIVUILLA ON OLTAVA VÄHINTÄÄN 100 mm BETONIA.

Kuva 10. Esimerkki jätevesiviemärin pohjakulman loivakaarisesta toteutuksesta varaston tms. katossa. Ylempää huoneistoa palvelevat viemärit liitetään vasta välipohjan alapuolella pohjakulman betonisen äänenvaimentimen jälkeiseen vaakaviemäriin (6)

Pystyviemärin pohjakulman kahden yläpuolisen kerrokset pystyviemärit pitää lisä-äänieristää 50 mm:n mineraalivillalla tai vaihtoehtoisesti seinärakenne on lisä-äänieristettävä 50 mm:n mineraalivillalla. KytKentä- ja vaakaviemärit pyritään sijoittamaan

huoneiston sisäpuolelle tai lattiarakenteeseen, jonka tilaa ne palvelevat. Niiden sijoittamista toisen tilan puolelle on ehdottomasti vältettävä. Rakentamismääräyskokoelman osan G1 muutos asuinkerrostalon huonekorkeuteen liittyen (2,8 metristä 3,0 metriin) mahdollistaa myös viemäriputkien sijoittamisen korokelattian välipohjan yläpuolelle (kuva 11). Tämä mahdollistaa viemäreille paremman ääneneristävyyden, koska viemärit ovat hyvin ääntäeristävän lattiarakenteen sisällä. (6)

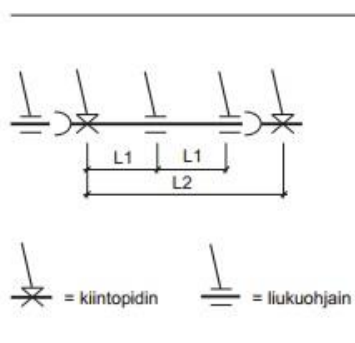


Kuva 11. Esimerkki korokelattian hyödyntämisestä talotekniikassa. Kuvassa korokelattiaan on asennettu käyttöveden kytkentäjohtoja ja viemäriputkia (6)

Kaikki pystykokoojaviemärit tulee äänieristää 50 mm:n mineraalivillalla, jonka tiheys on vähintään 100 kg/m^3 , ja suojarakenteella, joka tehdään tiilestä, betonista tai levyrakenteista. Välipohjan alapuolella olevat yhtä huoneistoa palvelevat viemärit äänieristetään 50 mm:n mineraalivillalla ja kattorakenteella paitsi, jos ne ovat betonisen äänenvaimentimen sisällä. Mikäli edellämainittujen viemäreiden putouskorkeus on yli 1 m, toteutaa äänitekninen suojaus samalla tavalla kuin pystykokoojaviemäreiden ja sen pohjaviemärin/sivuttaissiirron äänitekninen suojaus. Välipohjan alapuolella olevien viemäreiden haaroitukset tehdään enintään 45° :n osilla. Betonivaluun asennettua viemäriä ei tarvitse erikseen äänieristää. Tuuletusviemärit äänieristetään samalla tavalla kuin samaa materiaalia oleva pystykokoojaviemäri. (6)

4.2.3 Kannakointi ja läpiviennit

Viemäriputkien kannakoinnissa noudatetaan samaa asennustapaa kuin vesiputkillla. Erityistä huomiota pitää kiinnittää siihen, että kannakkeet kiinnitetään riittävän tukevaan rakenteeseen, esimerkiksi betoniseen välipohjaan. Viemäreille on kuitenkin olemassa myös valmiita kannakointijärjestelmiä, joissa viemärit irroitetaan kokonaan runko-rakenteesta kannakkeiden avulla. Välipohjaan asennetaan teräsprofiili, johon kannakkeet kiinnitetään. (7) Muovi- ja valurautaviemäreiden suurimmat kannakointivälit on esitetty kuvissa 12 ja 13.

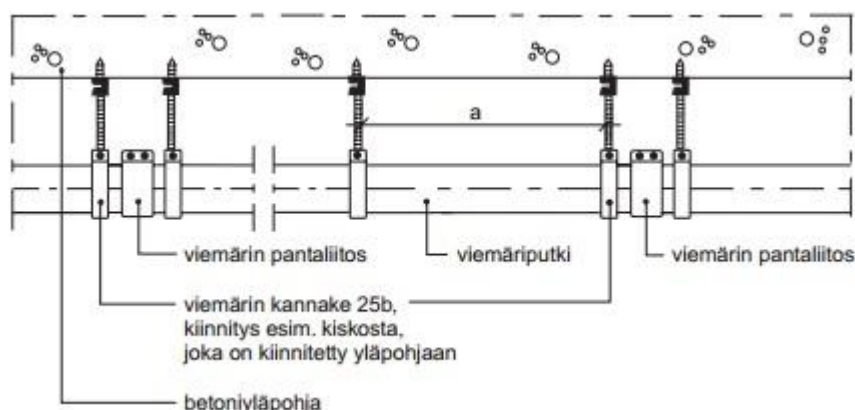
	Putkikoko d_u mm	Suurin sallittu kannakointiväli mm			
		Vaakaviemäri		Pystyviemäri	
		L1	L2	L1	L2
32		500	2000	1200	2000
50		1000	2000	1500	2000
75		1000	3000	2600	3000
110		1500	3000	2600	3000
160		2000	3000	2600	3000

Kuva 12. Muoviviemäreiden suurimmat sallitut kannakointivälit (7)

Putkikoko DN mm	Sallittu kannakointiväli	
	Vaaka- viemäri mm	Pysty- viemäri mm
≤ 100	1500	2500
150	2000	2500
≥ 200	2500	2500

Kuva 13. Valurautaviemäreiden suurimmat sallitut kannakointivälit (7)

Viemärikannakointitapana voidaan käyttää esimerkiksi kierretankokannakointia (kuva 14). Tässä tavassa ääneneristys toteutetaan käyttämällä yläpään kiinnityksen välissä eristekumia tai muovia, jotka ehkäisevät runkoäänien syntymistä. (7)



Kuva 14. Valurautaviemärin kierretankokannakointi katosta (7)

Kevyissä levyrakenteisissa seinissä tai välipohjissa läpiviennin reikä tehdään hieman viemäriputken ulkohalkaisijaa suuremmaksi ja putken ja seinämän välinen sauma tiivistetään joustavalla tiivistysmassalla. Putken ääneneristys jatkuu yhtenäisenä rakenteen läpi. (3)

Betonirakenteisissa seinissä tai välipohjissa viemäriputki joko asennetaan ennen betonivalua tai sille varataan aukko myöhempää asennusta varten ja läpivientiaukko jälkivaletaan viemäriputken ympäriltä. Tiilirakenteisessa seinässä läpivienti tehdään joko jättämällä muurausvaiheessa viemäriputkelle aukko tai jälkikäteen poraamalla sille sopivan kokoinen reikä. Viemäriputken asentamisen jälkeen läpivienti valetaan tiiviiksi. (3)

4.3 Lämmitysputkisto

4.3.1 Äänilähde

Vesikiertoisessa patterilämmityksessä ääntä aiheuttavat yleisimmin lämmityslaitteista syntyvä tärinä, joka välittyy runko- ja ilmaaänenä, sekä virtaava vesi putkistossa. Kuten muissakin pumpuissa, laakereiden epätasainen pyöriminen aiheuttaa tärinän. Tärinä siirtyy pumpun kannakkeiden kautta rakennuksen runkoon ja putkiston kautta pattereihin ja sitä kautta ilmaaänenä huoneeseen. Sykkivä nestevirta aiheuttaa äänen, jonka taajuutta kutsutaan siipitaajuudeksi, joka saadaan kertomalla pumpun kierrosnopeus juoksupyörän siipien lukumäärällä. Virtaavan nesteen aiheuttama ääni syntyy ylei-

simmin venttiileissä, joissa virtausnopeus on suurimmillaan. Venttiileistä häiritsevin on patteriventtiili. Mikäli venttiileissä syntyy häiritsevää ääntä, se johtuu putkiston ja venttiilin väärin lasketusta mitoituksesta tai pumppu on mitoitettu liian suureksi. (5)

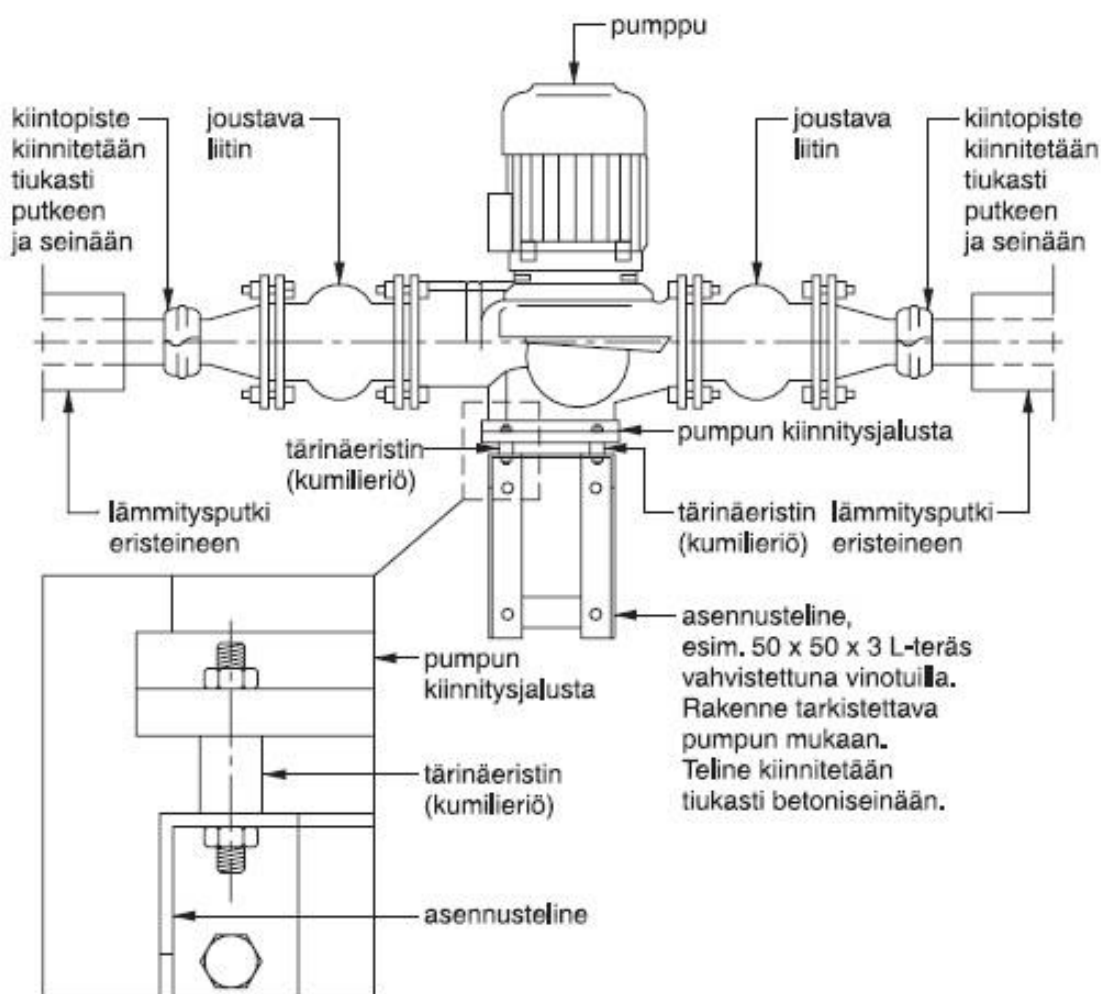
4.3.2 Pumput

Pumppuja mitoittaessa pitäisi valita mahdollisimman todellisia käyttöolosuhteita vastaava pumppu. Liian suuren pumpun valinta johtaa ääniongelmiin eikä sellaisesta pumpusta ole mitään hyötyä. Pumput valitaan kierrosnopeudeltaan mahdollisimman alhaisiksi. Pumppuina käytetään laakean ominaiskäyrän omaavia keskipakopumppuja (kuva 14), joiden kierrosnopeus on kuivapumpuilla maksimissaan 1 500 1/min ja märkäpumpuilla maksimissaan 3 000 1/min. Jos pumpusta aiheutuu ääntä, se voidaan varustaa paine-erosäätimellä, joka muuttaa pumpun kierrosnopeutta putkiston paineolosuhteiden muuttuessa. (5)



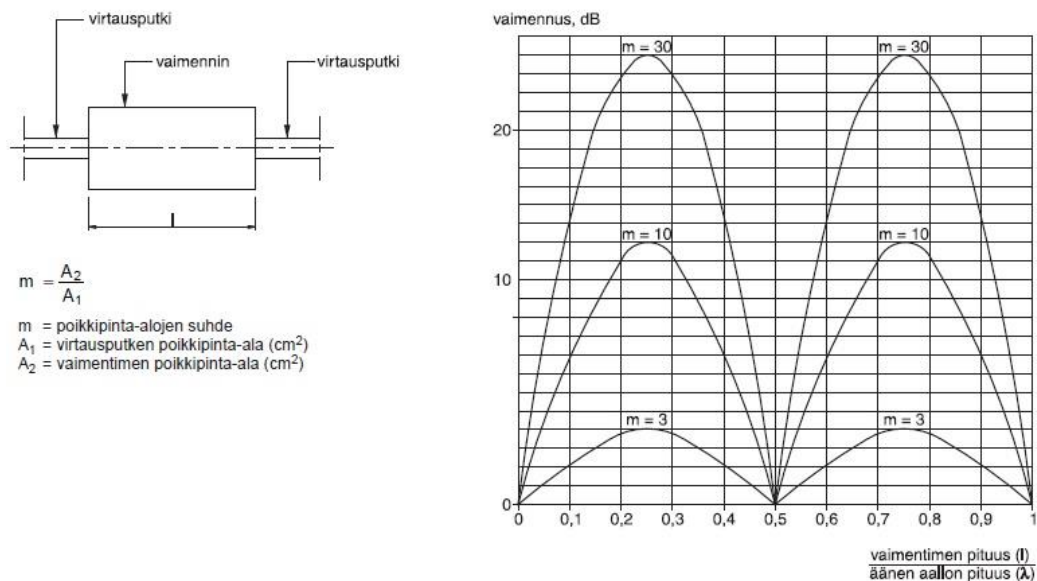
Kuva 15. IWAKI MXM -keskipakopumppu (14)

Pumpun aiheuttamaa tärinää voidaan estää asentamalla pumppu rakenteeseen tärinäeristimen välityksellä, kiinnittämällä pumppu telineeseen, joka on yhteydessä tärinäeristimeen tai kiinnittämällä pumppu betonijalkaan tai vastaan rakenteeseen, joka on erotettu rakennuksen rungosta (kuva 16). (5)



Kuva 16. Pumpun asennusesimerkki betoniseinään tärinäeristimien avulla (5)

Jos pumpusta aiheutuva ääni ylittää suurimmat sallitut äänitasot, varustetaan pumpun ja putkiston välinen liitos joustavalla liittimellä. Sykkivän nestevirran aiheuttamaa ääntä voidaan estää asentamalla ns. reaktiivinen vaimennin (kuva 17). (5)



Kuva 17. Reaktiivisen vaimentimen mitoitus vedessä kulkevalle äänelle (5)

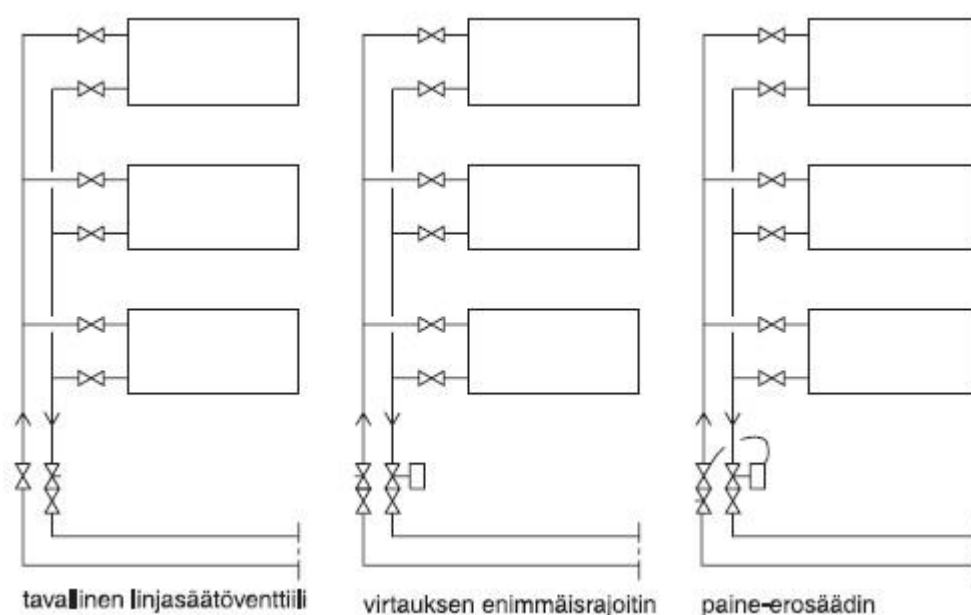
4.3.3 Venttiilit

Linjasäätö- ja patteriventtiilit mitoitetaan valmistajien ohjeiden avulla niin, että niiden äänitasot ovat selkeästi pienemmät kuin suurimmat sallitut äänitasot ja painehäviöt mahdollisimman alhaisiksi. Painehäviön on kuitenkin oltava riittävän suuri, jotta verkosto voidaan tasapainottaa. Patteriventtiileille varataan vähintään 2 kPa:n painehäviö ja mitoittavan kiertopiirin linjasäätöventtiilille vähintään 3 kPa:n painehäviö. Putkistoon asennettavien linjasäätöventtiilien avulla tasataan eri linjojen painehäviöitä niin, ettei patteriventtiilille tule liian suurta painehäviötä. (5)

Linjasäätöventtiilit suunnitellaan ja mitoitetaan mitoitusolosuhteiden mukaiselle vesivirrälle. Tätä vastaavaa lämpötehoa tarvitaan kuitenkin harvoin, koska ulkoiset ja sisäiset lämpökuormitukset muuttuvat. Näiden muutosten tasaamista varten patterit varutetaan termostaattisilla patteriventtiileillä. Ne avaavat ja sulkevat venttiilejään huonelämpötilan muutosten mukaan, joka saattaa johtaa pahimmassa tapauksessa siihen, että jonkin linjan kaikki patteriventtiilit ovat kiinni. Tällöin pumppu yrittää pakottaa kaikkien linjojen vesivirtoja muiden linjojen avoinna olevien venttiilien läpi ja tästä syntyy ääniongelmia. Ongelmaa pystytään ehkäisemään seuraavilla ratkaisuilla:

- Tavallisen linjasäätöventtiilin yhteyteen asennetaan paine-erosäätöinen tai tajuusmuuttajaohjattu pumppu, joka muuttaa pumpun kierrosnopeuden verkoston olosuhteiden muuttuessa (kuva 18, vas.).
- Linjasäätöventtiilin yhteyteen asennetaan virtauksen enimmäisrajoitin, joka estää verkoston säädetyn vesivirran ylärajan ylittymisen (kuva 18, kesk.).
- Linjasäätöventtiilin kanssa käytetään paine-erosäädintä, joka pitää linjan paine-eron vakiona verkoston olosuhteiden muuttuessa (kuva 18, oik.). (5)

Virtauksen enimmäisrajoitin ja paine-erosäädin asennetaan paluuputkeen ja niiden yhteydessä käytetään tavallista pumppua. (5)



Kuva 18. Putkiston eri linjasäätövaihtoehdot (5)

4.3.4 Putkisto

Lämmitysverkoston putkisto mitoitetaan vesijohtoverkoston tavoin väljästi, jolloin siitä aiheutuu mahdollisimman vähän painehäviötä ja sitä kautta ääntä. Putkiston keskimääräiseksi painehäviöksi mitoitetaan 50 Pa/m ja veden virtausnopeudeksi 0,3 ... 1,0 m/s, jolloin pientä painehäviötä ei tarvitse ottaa huomioon ja verkosto voidaan ilmata. Lyhyillä putkiosuuksilla voidaan käyttää painehäviönä 100 Pa/m. Putkiosuuden ollessa

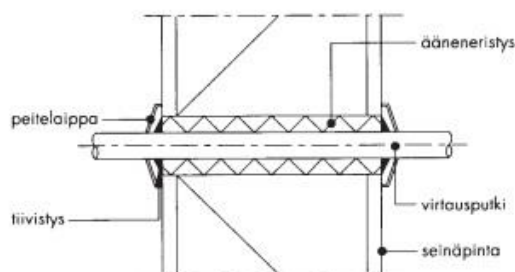
pitkä saattavat patteriventtiilien väliset paine-erot kasvaa melko suuriksi. Tällöin voidaan käyttää ns. käännettyä paluuputkijärjestelmää, jonka avulla saman kiertopiirin eri pattereiden virtauspiirit saadaan lähes yhtä pitkiksi. (5)

Äänen siirtymistä patteriverkoston välityksellä voidaan estää käyttämällä ns. keskitettyä runkosijoitusta. Siinä suojaputkiin vaihdettavaksi asennetut pattereiden kytkentäjohdot ovat lattian betonivalussa tai kerroslattiassa. Tällöin pattereiden värähtely pysähtyy kytkentäjohtoihin. (5)

Runkojohdot sijoitetaan tilaan, joka ei ääniteknisesti ole niin tärkeä, esimerkiksi porras-huone tai WC. Runkojohdoista johdetaan haarat asunnon kytkentäkaapissa oleviin jakorunkoihin. Jakorungoilta johdetaan esimerkiksi PEX-muoviputkella suojaputken sisällä kytkennät betonivalussa tai kerroslattiassa betoniseen välipohjaan kiinnitettynä pattereille. Asunnossa kytkentäkaappi sijoitetaan esimerkiksi WC- tms. tilaan, jossa mahdollinen syntyvä ääni ei aiheuta häiriötä. Kytkentäkaappi voidaan sijoittaa samaan tilaan runkojohtojen kanssa, jolloin ei tarvitse tehdä lainkaan läpivientejä. (5)

4.3.5 Kannakointi ja läpiviennit

Lämmitysputkien läpivienneissä noudatetaan pitkälti samoja ohjeita kuin esimerkiksi vesiverkoston putkillla. Lämmitysputkistosta syntyy ilmaääntä, joka siirtyy huoneistosta toiseen sekä rakenteisiin tehtävien läpivientien että patteriverkoston kautta. Tärkeintä on, että läpiviennit tehdään ilmatiiviiksi siten, että putkien lämpöliike on mahdollista ilman eristeen, putken tai rakenteiden rikkoontumista. (3; 5.)

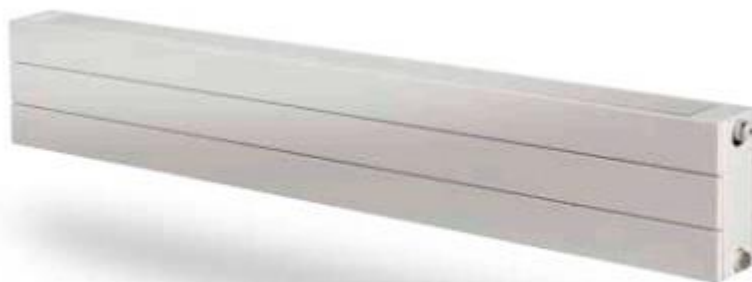


Kuva 19. Putken läpivienti kevyessä, ei osastoivassa levyseinässä (3)

Putkistojen kannakoinnin on kestävä putkistojen aiheuttama ulkoinen ja sisäinen rasitus ilman, että siitä syntyy ääntä. Ensisijaisesti putkisto kannakoidaan kantavaan betonirakenteeseen, mutta kevyeen rakenteeseen kannakoidessa pitää käyttää ääntä eristiäviä kannakkeita (kuva 19). (7) Kannakointivälit teräsputkille ja muoviputkille on esitetty kuvassa 7.

4.3.6 Lämmityslaitteistot

Putkistoon liittyviä lämmityslaitteistoja ovat pääasiassa lämminilmapuhaltimet ja patterit. Suuren yhtenäisen levypinnan omaavat kevyet patterit alkavat helposti värähdellä ilmaäänien ja patteriventtiilissä tapahtuvan pyörteisen virtauksen takia. Värähtelyriskiä voidaan ehkäistä valitsemalla pattereita, joissa on mahdollisimman suuri massa ja pieni yhtenäinen levypinta tai levypinta on rakenteellisesti tuettu hyvin, jotta se ei pääse värähtelemään. Esimerkiksi matalat konvektorit aiheuttavat paljon vähemmän ääntä kuin sileäpintaisten levypatterit. (Kuva 20.) Yksilevyisistä radiatoreista aiheutuu enemmän värähtelyä ja sitä kautta ääntä kuin monilevyisistä pattereista. Aina patterivalintaa ei kuitenkaan voida tehdä parhaalla mahdollisella tavalla ääniteknisestä näkökulmasta, koska esimerkiksi tilantarve tai asennuspaikka voi vaikuttaa oleellisesti patterin valintaan. (5)



Kuva 20. Purmon Kon-konvektori on hyvä valinta ääniteknisestä näkökulmasta (15)

Lämminilmapuhaltimista aiheutuu ilma- ja runkoääntä. Puhallin valitaan mitoitetujen arvojen avulla katsomalla mitoituskäyrästä mahdollisimman hiljainen puhallin. Ääntä voidaan vähentää asentamalla puhaltimet värinäeristimille tai käyttämällä joustavia liittimiä putkistoliitoksissa. (5)

4.3.7 Värinäeristin

Rakenteisiin kiinnitetyt, liikkuvilla osilla varustetut laitteet aiheuttavat aina värähtelyllään runkoääntä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi ilmanvaihtokoneet, kompressorit, pumput ja jäähdytyskoneet.

Monien laitevalmistajien ilmanvaihtokoneissa on valmiiksi suunnitellut värinäeristykset puhtaltimille ja normaalisti koneen paineaukot liitetty koneen vaippaan joustavilla liitosnauhoilla, jolloin koneelle ei erikseen tarvitse suunnitella runkoäänieristystä. Aina laitteen toimitukseen ei kuitenkaan kuulu valmiiksi suunniteltua värinäeristystä. Laitteiden asennuksessa pääsääntönä on, ettei niitä saa kiinnittää jäykästi rakennuksen runkoon, vaan niille on suunniteltava värinäeristys.

Runkoäänien voimakkuus riippuu siitä, että kuinka raskaaseen rakenteeseen laite on asennettu. Puutteellisesta värinäeristyksestä aiheutuva runkoääni havaitaan yleensä silloin, kun rakennuksessa kuuluu epämääräisestä suunnasta tai kaikkialta teknisen laitteen aiheuttamaa melua. Yleisimmin rakennuksen runkoääniä aiheuttava syy LVIS-laitteissa on jokin seuraavista:

- Värinäeristimiä ei ole asennettu.
- Värinäeristimet ovat liian jäykät tai kevyet, jolloin riittävää eristystä ei synny.
- Värinäeristimillä on liian suuri kuorma.
- Laitteen ja alustan välissä on jokin osa, joka kytkee laitteen alustaan.
- Laite kytkeytyy rakennuksen runkoon esimerkiksi putken kautta. (2, s. 216.)

Tärinäneristys suunnitellaan käyttäen laitteen alinta kierrosnopeutta ja massaa. Tavoitteena on, että koneen alimman herätetaajuuden f , eristysjousien ja niiden varassa olevan massan muodostaman ominaistajuuden f_0 suhde f/f_0 on vähintään 2,5. Ominaistaajuuden tulee enintään olla 8 Hz, jotta saadaan runkoääneneristys koko kuuloalueelle eli 20 Hz yläpuolelle. Tällöin eristimen puristuman tulee olla vähintään 4 mm laitteen painosta. Esimerkki tärinäneristimen mitoitusdiagrammeista on esitetty kuvassa 21. Laitteen ominaistaajuudella f_0 ja puristuman δ [m] välillä on yhteys

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{4\delta}} \quad (\text{Kaava 10a})$$

tai

$$\delta = \frac{1}{4f_0^2} \quad (\text{Kaava 10b})$$

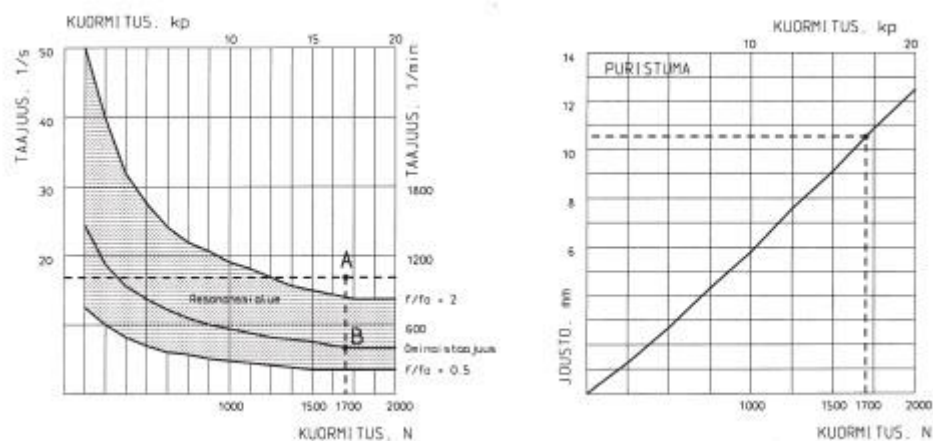
Yhden laitteen tärinäneristys mitoitetaan seuraavasti:

- Selvitetään laitteen alin kierrosluku.
- Kierrosluku muutetaan taajuudeksi jakamalla se 60:llä.
- Ominaistaajuuden tulee olla 2,5–3 kertaa matalampi kuin kierrosluvun mukainen taajuus.
- Lasketaan tärinäneristinten vähimmäispuristuma. (2, s. 216–217.)

Esimerkiksi kun laitteen alin kierrosluku on 600 r/min ja puristuma on 19 mm, saadaan ominaistaajuudeksi kaavan 10b avulla

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{4 * 0,019}} = 3,63 \text{ Hz}$$

Alin kierrosluku muutettuna taajuudeksi on 10 Hz. $10 \text{ Hz} / 2,5 = 4 \text{ Hz}$ ja $10 \text{ Hz} / 3 = 3,3 \text{ Hz}$, joten ominaistajuuden pitäisi olla välillä 3,3 Hz ... 4 Hz. Ominaistajuus on 3,63 Hz ja sen kertoimeksi tulee 2,75.



Kuva 21. Esimerkki värinäeristimen mitoitusdiagrammeista (5)

4.4 Ilmanvaihto

4.4.1 Äänilähde

Ilmanvaihtokoneen ääni syntyy pääasiassa puhaltimesta, joka etenee koneen imu- ja paineaukkoon. Poistoilmakoneen ääni siirtyy poistoilmakanavan kautta huonetiloihin meluna ja jäteilmakanavan kautta rakennuksen ulkopuolelle. Vastaavasti tuloilmakoneen ääni siirtyy tuloilmakanavan kautta huonetiloihin ja ulkoilmakanavan kautta ulos. Lisäksi ilmanvaihtokone tuottaa ääntä runkonsa läpi joko ilmanvaihtokonehuoneeseen tai huoneistokohtaisen ilmanvaihtokoneen tapauksessa esimerkiksi kodinhoitohuoneeseen. (2, s. 177.)

Sykkivästä ilmavirrasta aiheutuu ääntä, joka merkittävin taajuus on ns. siipitaajuus, joka saadaan kertomalla puhaltimen kierrosluku siipien lukumäärällä. Tästä syntyvä ääni siirtyy ilman ja kanaviston kautta sekä kanavan seinämän läpi ja rakennuksen runkoon.

Virtausääni syntyy, kun virtaavan ilman pyörteisyys tai nopeus muuttuu. Sitä syntyy kanaviston eri osissa ja näitä osia ovat esimerkiksi mutkat, haarakohdat ja venttiilit. (4)

Ääntä aiheuttaa	Ääntä vaimentaa
<ul style="list-style-type: none"> • puhallin • säätölaitteet • päätelaitteet • mutkat, haarat yms. kanavaosat • virtausnopeutta lisäävät poikkipinnan muutokset 	<ul style="list-style-type: none"> • äänenvaimentimet • päätevaimennus • huonevaimennus • mutkat • kanavan haaroitukset

Kuva 22. IV-koneiden äänenaiheuttajia ja äänenvaimentajia (4)

4.4.2 Äänen eteneminen

Ääni etenee ilmanvaihdossa runko- ja ilmaäänenä. Runkoääntä syntyy värähtelystä ja se etenee kanavistoa ja rakenteita pitkin ja siitä tulee myöhemmin ilmaääntä. Ilmaääni voi edetä myös virtauksen vastaisesti, koska äänennopeus 340 m/s on huomattavasti suurempi kuin kanavassa virtaavan ilman nopeus. Ilmaääntä on myös kanavan seinämän läpi ympäröivään tilaan siirtyvä ääni. Sivutiesiirtymä tarkoittaa ääntä, joka siirtyy esimerkiksi äänenvaimentimen tai rakenteen ohi sivutien kautta. Sivutiesiirtymänä esiintyvä ääni voi olla runko- tai ilmaääntä. Näitä sivutiesiirtymän reittejä voivat olla esimerkiksi kannakkeiden kautta rakenteisiin siirtyvät äänet. (4)

4.4.3 Äänen vaimeneminen

Runkoääni vaimenee pikkuhiljaa siirtyessä kauemmaksi äänilähteestä, koska ääntä aiheuttava värähtely menettää tehoa mitä pidemmälle se etenee. Runkoäänen vaimentamista varten voidaan asentaa tärinänvaimentimia. (4)

Ilmaääntä vaimentavat esimerkiksi äänenvaimentimet. Myös kanaviston muodon- tai poikkipinnan muutokset vaimentavat ilmaääntä, koska niihin osuessaan ääni menettää tehoa. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi haarat ja mutkat. Toisaalta näissä osissa saattaa myös syntyä lisää ääntä. Mikäli ilman virtausnopeus on riittävän pieni ja kanavaosan muutos ei aiheuta ilmapirtauksen voimakasta pyörteilyä, jää syntynyt ääni pieneksi ja näin ollen vaimennuksen hyöty jää suuremmaksi kuin syntyneen äänen haitta. (4)

Huonevaimennus syntyy, kun ääni osuu huoneessa oleviin absorboiviin pintoihin ja sitä kautta vaimenee. Absorboivia pintoja ovat esimerkiksi matot, verhot, huonekalut ja ihmiset. Siten huonevaimennuksen suuruus riippuu huonetilan kokonaisabsorptiopinta-alasta. Huonevaimennus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$L_p = L_w - D_{huone} = L_w - 10 \log_{10} \left(\frac{A}{4} \right) \quad (\text{Kaava 11})$$

L_p on huoneeseen muodostuva äänitaso, dB

L_w on ääniteho, dB

D_{huone} on huonevaimennus, dB

A on kokonaisabsorptioala, m²-Sab

(4; 2, s. 179.)

Esimerkiksi jos ääniteho on 35dB ja huoneen kokonaisabsorptioala on 16 m²-Sab, saadaan tulokseksi

$$L_p = 35dB - 10 \log_{10} \left(\frac{16}{4} \right) = 28,9794 \cong 29dB$$

Haaravaimennusta syntyy, kun ilmvirta jakautuu kanaviston haarakohdissa. Ääniteho jakautuu suhteessa haarautuvien kanavien pinta-alojen kanssa. (4)

Pyöreissä peltikanavissa äänenvaimennus matalilla taajuuksilla on 0,1 dB/m ja korkeilla taajuuksilla alle 0,3 dB/m. Suorakaidekanavissa suurilla taajuuksilla toiminta on samaa, mutta pienillä taajuuksilla on parempi äänenvaimennus, noin 0,6 dB/m. Ääneneristetty suorakaidekanava voi saavuttaa jopa 1 dB/m vaimennuksen. Useimmiten suorakaidekanavien äänenvaimennukset jätetään huomioimatta laskelmissa, jolloin lopputulokseen syntyy pieni varmuusvara. (2, s. 189.)

Päätevaimennus syntyy, kun kanavan päässä ääni siirtyy huonetilaan. Se koostuu pääteheijastuksesta ja päätelaitteen vaimennuksesta. Pääteheijastukseen vaikuttavat taajuus, kanavan poikkipinta-ala ja kanavan päänsijainti huoneessa. Useimmiten valmistajien ilmoittamat vaimennusarvot päätelaitteille sisältävät pääteheijastuksen. (4)

Pääte-elimien muoto, avausaste ja materiaalivalinnat vaikuttavat sen äänenvaimennukseen, joten näiden vaikutuksen arvioimiseksi ei ole yleispätevää kaavaa käytettävissä. Tuote-esitteissä on esitetty arvot, jotka sisältävät vapaan kanavan pääteheijastuksen arvon. Tällöin pääteheijastuksen arvoa ei enää lasketa erikseen. (2, s. 182.)

Kanaviston poikkipintaiset muutokset vaikuttavat äänen vaimenemiseen. Poikkipinta-alan muuttuessa muutoskohdassa tapahtuu heijastus, jonka vuoksi äänitaso on alhaisempi muutoskohdan jälkeen. Vaimennukseen vaikuttavat poikkipinta-alojen suhde ja taajuus. (4)

Kanavan muuttuessa pienemmästä kanavasta suurempaan kanavaan, etenee ääni suurempaan kanavaan eikä rajapinnasta tapahdu juurikaan heijastusta. Suuremman kanavan muuttuessa pienempään kanavaan törmää osa äänestä rajapinnan seinään. Muutos lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$D_{ala} = 10 \log_{10} \frac{S_1}{S_2} \quad (\text{Kaava 12})$$

D_{ala} on äänenvaimennus, dB

S_1 on aiemman kanavan poikkipinta-ala, m²

S_2 on jälkimmäisen kanavan poikkipinta-ala, m²

(2, s. 186.)

Esimerkiksi jos halkaisijaltaan 500 mm:n kanava muuttuu halkaisijaltaan 250 mm:n kanavaksi, saadaan vastaukseksi

$$D_{ala} = 10 \log_{10} \frac{\pi \left(\frac{0,25}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{0,5}{2}\right)^2} = 10 \log_{10} 0,0625 = -12 \text{ dB}$$

4.4.4 Suunnitteluperusteet

Ilmanvaihtolaitteiden äänitekniiseen kokonaisuuteen vaikuttavat monet seikat, esimerkiksi laitevalinnat ja rakennuksen rakenteet. Tärkeää onkin panostaa äänitekniiseen suunnitteluun heti alusta asti ja pitää se mielessä koko suunnitteluprosessin ajan.

Ääniteknisestä näkökulmasta katsottuna IV-suunnittelijalta ja rakennesuunnittelijalta edellytetään tiivistä yhteistyötä. (4)

Yksi suunnittelun tärkeimmistä osista on kanaviston painehäviölaskelma, joka tehdään alustavan suunnittelun jälkeen. Sen avulla saadaan selville tarvittavat painetasot kanaviston eri kohdissa, eri haarojen tasapainoitustarve, kanavakokojen mahdolliset muutokset sekä päätelaitteiden aiheuttamat äänitasot. Kanaviston ollessa tasapainossa ja painetason ollessa pieni ei myöhemmin pitäisi aiheutua ääni- tai säätötekniisiä ongelmia. Painehäviölaskelman jälkeen tehdään lopullinen ilmanvaihtolaitteiston mitoitus. (4)

Suunnittelun tavoitteena on saada aikaan tarkoituksenmukainen, toimiva ja hiljainen järjestelmä. Tämä onnistuu, mikäli kanavisto on mahdollisimman tasapainoinen ja painetaso on mahdollisimman alhainen. Lisäksi päätelaitteiden tulisi toimia samalla painealueella. Tasapainoisessa kanavistossa painetason ero runkokanavasta lähtevien eri kanavahaarojen välillä on mahdollisimman pieni. Alhainen painetaso edellyttää suoraviivaista ja selkeää kanavistoa, jossa ei ole turhia mutkia, koon muutoksia tms. kohtia, joista voisi aiheutua painehäviötä. Lisäksi se edellyttää väljää mitoitusta. Alhaisilla ilman virtausnopeuksilla kitkavastus eli painehäviö on pieni. Painehäviö ei kuitenkaan voi olla liian alhainen, jotta säädöt voidaan tehdä. Isot rakennukset tulisi mieluummin varustaa useammalla pienellä kuin yhdellä isolla ilmanvaihtokoneella, jolloin kanavakoot yms. pysyvät kohtuullisina. Yleisimmät asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät ovat huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, kiinteistökohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, huoneistokohtainen poistoilmanvaihtojärjestelmä ja yhteiskanavapoistoilmanvaihtojärjestelmä. (4)

4.4.5 Kanavisto

Kanaviston suunnittelussa on kolme tärkeää kohtaa, jotka pitäisi ottaa huomioon:

- Kanavakoot pitäisi mitoittaa niin, että virtausnopeudet olisi alhaiset.
- Mahdollisimman loivat kanaviston suunnan ja koon muutokset.
- Äänen siirtyminen kanavistossa estetään. (4)

Runkokanavan koko Ø	Ilman nopeus m/s
125	2,5
160	3,0
200	3,0
250	3,5
315	3,5
400	4,0
500	4,5
630	5,5

Kuva 23. Runkokanavien suurimmat sallitut ilmavirrat (4)

Yhtä päätelaitetta palvelevissa kanavissa ilman nopeus ei saisi ylittää lukemaa 2 m/s, jotta painehäviö pysyisi alhaisena. Runkokanavissa kanavakoko vaikuttaa suurimpaan sallittuun ilman nopeuteen (kuva 23). Suunnan ja koon muutoksissa käytetään riittävän loivia tehdasvalmisteisia ja tyyppihyväksytettyjä tai sertifitioituja kanavaosia, joista löytyy ääni ja virtaustekniset mittaustulokset, jolloin kanavistossa on mahdollisimman vähän ilman pyörteilyä ja ääntä aiheuttavia kohtia. Ääniteknisestä näkökulmasta runkokanava pitäisi tehdä alusta loppuun samalla kanavakoolla kuin pienentää sitä aina mahdollisuuden tullen. (4)

Puhaltimen ilmaäänien pääasiallisena vaimentajana toimii pää-äänenvaimennin. Lisäksi sitä vaimentavat kanavaan asennettava äänenvaimennin, päätelaitteet, huonevaimennus, haaravaimennus, runkokanavan äänenvaimennus ja kanaviston muodonmuutokset. (4)

Kanavat kannakoidaan aina massiivisiin rakenteisiin, jottei runkoääni pääse etenemään kannakkeiden kautta rakenteisiin ja sitä kautta huonetiloihin. Liitoskohtien kannakointi pitää tehdä niin, ettei liitos pääse aukeamaan tai vuotamaan. Kaikkien liitosten kanavistossa on oltava tiiviitä, muuten vuotokohdista voi kuulua suhinaa tai vihellystä ja silloin kanavien ääneneristävydet kärsivät. (4)

4.4.6 Äänenvaimentimet

Jos erityisesti lamellivaimentimilla halutaan lyhyellä matkalla saada suuri tason aleneminen, käytetään jopa 5 cm:n levyisiä, kapeita rakoja. Vaimentimesta tulee huomattavasti

tavasti suurempi poikkipinta-alaltaan kuin viereisestä kanavasta, jos nopeus äänenvaimentimessa pidetään alhaisena. Jos nopeutta kasvattaa liian suureksi, on vaarana että ääniloukun oma ääniteho muuttuu suuremmaksi kuin sen lävitse tulevan puhallin-äänien teho. Tämä johtaa siihen, että äänenvaimentimesta tulee itsessään äänilähde. Vaimentimen ääniteho on suoraan verrannollinen poikkileikkauksen pinta-alaan ja nopeuden viidenteen potenssiin. (1, s. 385.)

Useimmiten suurin osa puhallinmelusta vaimennetaan puhaltimeen integroidulla primäärivaimentimilla. Ne ovat useimmiten lamellivaimentimia, joissa ilma kulkee absorboivien levyjen välistä. Mikäli primäärivaimennin ja huoneeseen asennetun pääte-elimien yhteinen äänenvaimennus ei ole riittävä, kanavistoon asennetaan sekundääri-vaimennin, eli kanavaäänenvaimennin, jotka ovat sylinterimäisiä tai kantikkaita. (2, s. 191.)

Äänenvaimennin (kuva 24.) on sitä tehokkaampi, mitä pidempi se on, mitä paremmaksi käytettävän absorptiomateriaalin absorptiosuhde muuttuu, mitä enemmän vapaan ilmareitin osuus poikkileikkauksesta pienenee ja mitä monimutkaisempi sen muoto on, jolloin ääni joutuu mutkittelemaan. (2, s. 192.)



Kuva 24. Fläkt Woodsin BDER-äänenvaimennin (16)

4.4.7 Venttiilit

Venttiilin rakenne ja muoto aiheuttavat ilmanvastusta synnyttävät pyörteitä. Niiden säleet tai levyrakenteet voivat myös värähdellä ja sillä tavalla aiheuttaa ääntä. Toisinaan niissä on myös liikkuvia osia, jotka helisevät muita osia vasten. Parhaan äänitekniisen tuloksen eli alhaisen äänitason saamiseksi venttiilien rakenteiden tulisi olla kiinteitä ja tukevia sekä muotoilultaan aerodynaamisia. (1, s. 375.)

Päätelaitteeksi valitaan hyvät virtaus-, ääni- ja säätötekniiset ominaisuudet omaava laite. Lopullinen päätös tehdään laitevalmistajan mitoituskäyrästä selviävien ilmavirran ja painehäviön perusteella. Käytännössä kuitenkin todellinen asennus harvoin vastaa laboratorioasennusta. Tästä syystä päätelaite kannattaa valita niin, että sen aiheuttama äänitaso selvästi pienempi kuin haluttu äänitaso. (4)

4.4.8 Säätoelimet

Säätoelimet (kuva 25) aiheuttavat nopeuden kasvua ja pyörteiden syntymistä. Tavallisten vastakkaissäleiden säätoeltien ääniteho on verrannollinen sälepellin alaan. Kun säleet pysyvät vakioasennossa, ääniteho on verrannollinen nopeuden kuudenteen potenssiin ja painetason pysyessä vakiona likimain verrannollinen nopeuden potenssiin 1,5. Koska säätoelti synnyttää ilmavirran pyörteisyyttä, lisää se myös muiden kanavaosien äänenkehitystä. Muotoilulla pystytään kuitenkin hillitsemään pyörteiden syntymistä. Säätoelimet pitäisi muotoilla virtausteknisesti joustaviksi ja materiaalin pitäisi olla tarpeeksi tukevaa. (1, s. 382–383.)

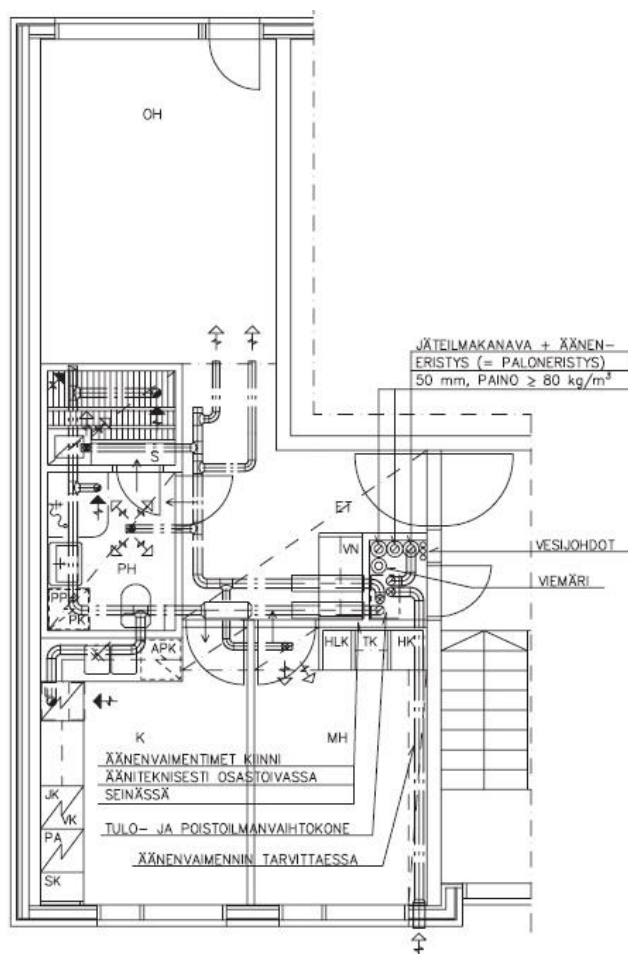


Kuva 25. Fläkt Woodsin säätö- ja mittauslaite IRIS (18)

4.4.9 Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Tässä ilmanvaihtojärjestelmässä jokaisella huoneistolla on oma tulo- ja poistoilmanvaihtokone. Eri huoneistoilla ei ole yhteisiä kanavia, joiden avulla ääni voisi siirtyä huoneistosta toiseen. (4)

Yleisin meluhaitta aiheutuu tulo- ja poistoilmaventtiileistä. Hormissa olevat runkokanavat äänieristetään 50 mm:n mineraalivillalla, joka toimii samalla paloneristeenä. Tällä tavalla estetään äänen siirtyminen kanavasta toiseen ja sitä kautta huoneistoon. Mikäli näitä runkokanavia ei eristetä, on äänen siirtyminen seinämän läpi estettävä muulla tavalla, esimerkiksi väliseinällä. Ilmanvaihtokone sijoitetaan ensisijaisesti omaan ääniteknisesti osastoituun tilaan ja sen kanavistoon asennetaan äänenvaimentimet koneen välittömään läheisyyteen. Jos ilmanvaihtokoneen tärinää aiheuttavat osat on varustettu tärinäneristimillä, kone voidaan asentaa suoraan rakenteeseen ja kanavat voidaan liittää suoraan koneeseen. Muutoin koneen ja rakenteen väliin on asennettava tärinäneristimet ja kanavat liitettävä koneeseen joustavilla liittimillä. (Kuva 26.) (4)



Kuva 26. Esimerkki huoneistokohtaisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän kanavistosta kerrostalohuoneistossa (4)

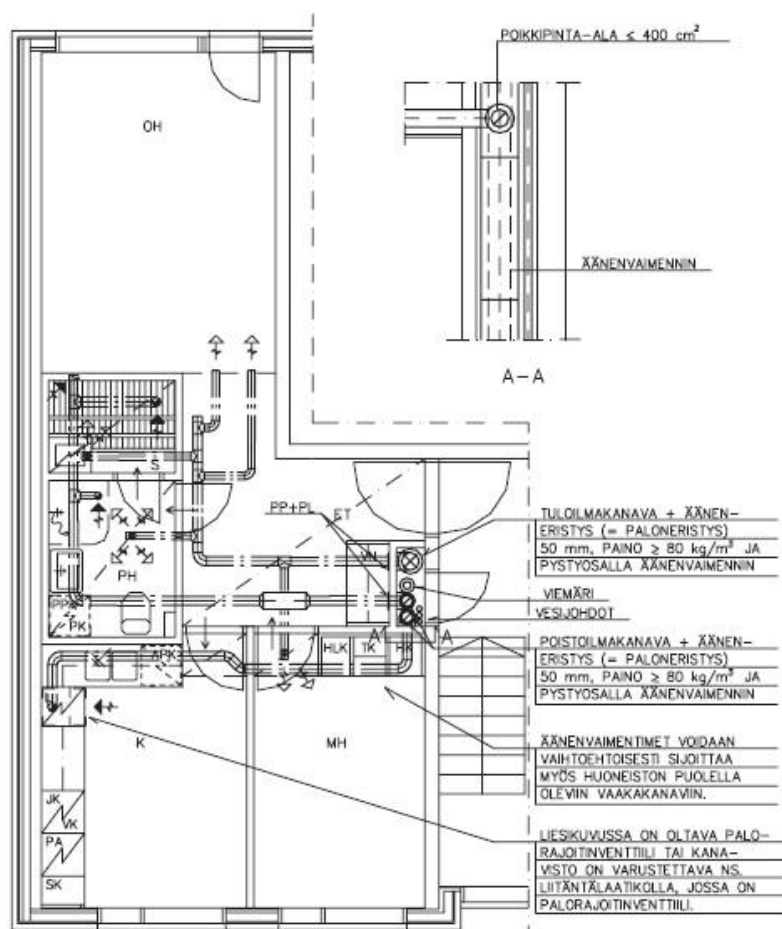
4.4.10 Kiinteistökohtainen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Tässä ilmanvaihtojärjestelmässä huoneistoilla on yhteiset runkokanavat, jotka menevät huoneistojen läpi yhteiselle tulo- ja poistoilmanvaihtokoneelle. Useimmiten ääni-ongelmia aiheuttavat tulo- ja poistoilmaventtiilit, huoneistosta toiseen kanavan kautta siirtyvä melu sekä ilmanvaihtokoneesta aiheutuvat äänet. (4)

Hormiin asennettavat runkokanavat eristetään samalla tavalla kuin huoneistokohtaisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Tässä järjestelmässä asennetaan äänenvaimentimet huoneistojen välille, joiden avulla äänen siirtymistä huoneistosta toiseen voidaan estää. Äänenvaimentimen sijasta voidaan käyttää riittävästi äänenvaimentavaa päätelaitetta, mutta silloin ääni ei saa ohittaa päätelaitetta esimerkiksi

kanavan seinämän läpi. Huoneistojen välisien äänenvaimentimien lisäksi ilmanvaihtokoneiden läheisyyteen asennetaan pää-äänenvaimentimet, joilla estetään ilmanvaihtokoneesta aiheutuvan ilmaäänien eteneminen. (4)

Useimmiten ilmanvaihtokone sijoitetaan joko vesikatolle tai ullakolle. Yleensä ilmanvaihtokone kiinnitetään suoraan lattiaan kiinni ja sen tärinää aiheuttavat osat liitetään koneeseen tärinänieristimien välityksellä. Tällä tavoin estetään runkoäänien syntymistä. (Kuva 27.) (4)

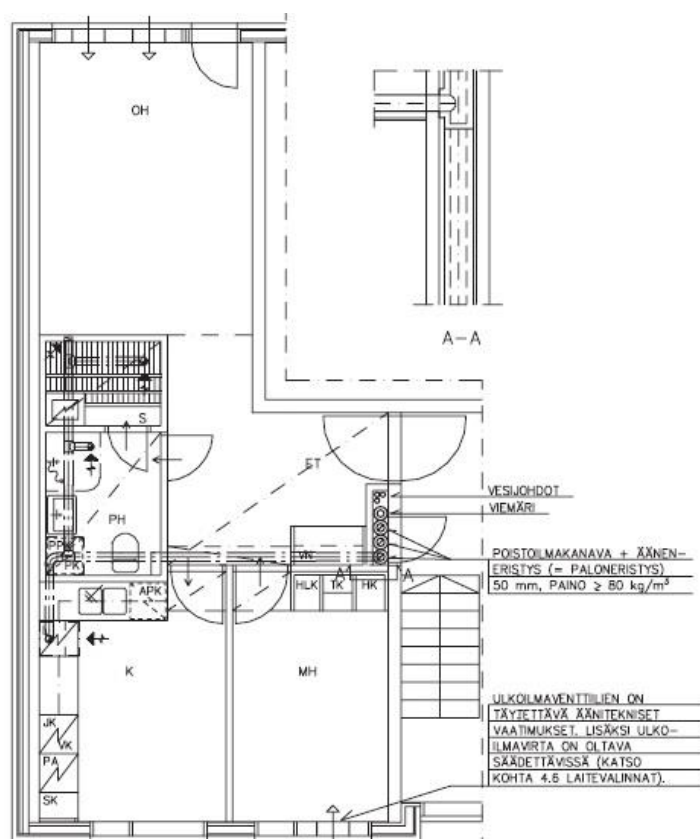


Kuva 27. Esimerkki kiinteistökohtaisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän kanavistosta kerrostalohuoneistossa (4)

4.4.11 Huoneistokohtainen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Tässä järjestelmässä jokaisella huoneistolla on oma poistoilmapuhallin vesikatolla, johon liitetään omalla pystyrunkokanavalla huoneiston kanavat. Ääniteknisesti järjestelmän ongelmakohtina ovat poistoilmapuhaltimen ja -laitteiden aiheuttama melu. Lisäksi ongelmana on ulkoseinässä olevien ulkoilmaventtilien kautta sisälle kulkeutuva ääni. Hormitilojen runkokanavien eristys tehdään samalla tavalla kuin aiemmin mainituissa järjestelmissä. (4)

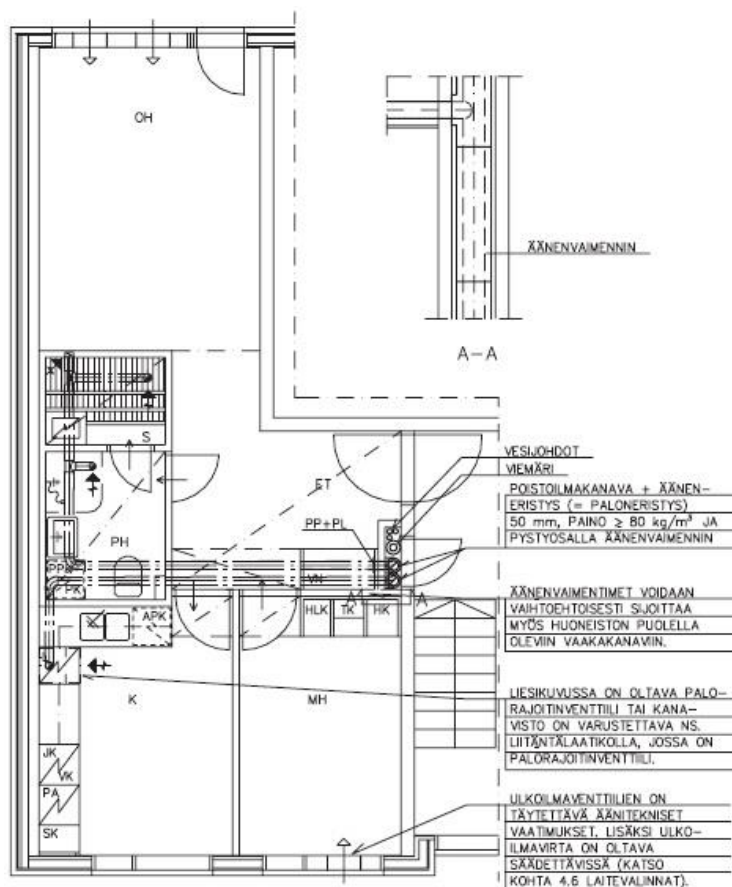
Poistoilmapuhaltimien välittömään läheisyyteen asennetaan äänenvaimentimet, joilla ilmaaänen eteneminen estetään. Puhallin kiinnitetään tärinäeristimien välityksellä rakenteisiin ja kanavistoon. Näin estetään runkoäänen siirtyminen asuinhuoneistoihin. (Kuva 28.) (4)



Kuva 28. Esimerkki huoneistokohtaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän kanavistosta kerrostalohuoneistossa (4)

4.4.12 Yhteiskanavapoistoilmanvaihtojärjestelmä

Tässä järjestelmässä huoneistoilla on yhteinen runkokanava, johon huoneistojen kanavat liitetään ja joka johdetaan huoneistojen läpi vesikatolle yhteiselle poistoilmapuhaltimelle. Kuten muissakin yhteisissä ilmanvaihtojärjestelmissä, myös tässä ongelmaksi muodostuu huoneistosta toiseen siirtyvä melu. Lisäksi yleisiä ääniongelmia ovat poistoilmapuhaltimen sekä poistoilmaventtiilien äänet. Hormitiloissa olevien runkokanavien eristys tehdään samalla tavalla kuin aiemmin mainituissa järjestelmissä. Kuten kiinteistökohtaisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä, myös tässä järjestelmässä asennetaan sekä huoneistojen väliset äänenvaimentimet että päääänenvaimentimet puhaltimille. Puhaltimen kiinnitys rakenteisiin ja kanavistoon tehdään käyttämällä tärinänvaimentimia. (Kuva 29.) (4)



Kuva 29. Esimerkki yhteiskanavapoistoilmanvaihtojärjestelmän kanavista kerrostalohuoneistossa (4)

4.4.13 Kanavaosan äänenvaimennuksen mittaus

Kanavatuotteen äänenvaimennus voidaan määritellä mille tahansa kanaviston osalle. Yleisimmässä mittausmenetelmässä äänenvaimennuksen määrittämistä varten tarvitaan kohinaa tuottava kaiutin, noin 8 metriä suoraa kanavaa, jonka keskellä on paikka mitattavalle vaimentimelle, sekä mittaushuone, johon kanava voidaan päättää. Mittaus tehdään kahdesti. Äänenvaimennus saadaan yhtälöstä (2, s. 177.)

$$D = L_{w,1} - L_{w,2} \quad (\text{Kaava 13})$$

$L_{w,1}$ on ensimmäinen mittaus ilman äänenvaimenninta

$L_{w,2}$ on toinen mittaus äänenvaimentimella

Ensimmäinen mittaus suoritetaan niin, että äänenvaimentimen tilalla käytetään suoraa kanavaosaa, joka on yhtä pitkä kuin tutkittava äänenvaimennin. Tämän jälkeen kyseinen osa vaihdetaan tutkittavaan äänenvaimentimeen ja suoritetaan toinen mittaus. (2, s. 177.)

Tarkin mittauksresultat saadaan suorittamalla mittaus esimerkiksi intensiteettimenetelmällä suoraan kanavan päästä, jolloin mittaushuoneessa tapahtuvat ominaisvärähtelyt eivät vaikuta tulokseen. Useimmiten käytetään kuitenkin epäsuoraa menetelmää eli painemenetelmää, jossa mitataan huoneen keskimääräisiä äänenpainetasoja sen sijaan, että mitattaisiin kanavan suun tuottama äänitehotaso. (2, s. 177.)

4.4.14 Päätelaitteen äänenvaimennuksen mittaus

Päätelaitteen äänenvaimennuksen mittaukselta varten tarvitaan kohinaa tuottava kaiutin, 3,5 m suoraa kanavaa sekä mittaushuone, johon kanava päätetään. Mittaus on hyvin samanlainen kuin kanavan äänenvaimennuksen mittaus. Mittaus suoritetaan kahdesti ja ensimmäisen mittauksen aikana kanavan pää on avoinna, ja toisen mittauksen aikana siihen asennetaan päätelaite, esimerkiksi venttiili tai säleikkö. Äänenvaimennus saadaan samalla kaavalla, eli ensimmäisen mittauksen tulos vähennettynä toisen mittauksen tulos. Useimmiten tulokseen lisätään avoimen putken päätevaimennuksen arvo. (2, s. 178.)

4.4.15 Puhallinten äänitehotason mittaus

Tulo- ja poistopuolen ilmanvaihtokoneiden melupäästön mittaus on monivaiheinen operaatio, koska melupäästö kohdistuu useaan suuntaan, esimerkiksi jäteilmakanavaan pihalle ja tuloilmakanavaan huonetilaan. Äänitehotason mittaus tehdään yleensä vähintään viiden eri kierrosnopeudella tyypisellä käyttöalueella ja niiden yhteydessä määritellään ilmavirran nopeus ja painehäviö. Mittausympäristön tulisi olla hiljainen, koska puhaltimeen voi olla yhdistettynä äänenvaimennin. Tällöin melupäästö voi olla erittäin vähäistä alhaisilla kierosluvuilla. (2, s. 178.)

4.4.16 Kanavaosien äänenkehityksen mittaus

Puhaltimen tapaan myös kanavaosat voivat aiheuttaa huomattavasti ääntä, mikäli niiden läpi virtaavan ilman nopeus on tarpeeksi suuri. Äänenkehityksestä tulee ongelma, kun virtauksen aiheuttama A-äänitaso on yli 25 dB normaalissa huoneessa. Äänenkehityksen mittaamiseksi tarvitaan laaja mittausjärjestelmä. Se koostuu portaattomasti säädettävästä ja molempiin suuntiin hyvin äänenvaimennetusta puhaltimesta, 8 metriä pitkästä suorasta kanavasta, jonka keskellä on paikka asennettavalle kanavaosalle sekä erittäin hyvin ääneneristetyistä ja hiljaisesta mittaushuoneesta, johon kanava päätetään. (2, s. 178–179.)

Mittaushuoneessa määritetään kanavan äänitehotaso. Mitatusta tuloksesta vähennetään avoimen kanavan päätevaimennuksen laskennallinen arvo, jotta voidaan saada selville kanavan sisällä oleva todellinen äänitehotaso. Mittaustilanteita ja -tuloksia tulee useita, koska niiden yhteydessä määritetään ilmavirran nopeus ja painehäviö. Äänenkehitys määritetään tyypisellä paine- ja nopeusalueella sekä säätämällä pääte-elintä että muuttamalla puhaltimen tehoa. (2, s. 178–179.)

5 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli käsitellä LVI-järjestelmien akustista suunnittelua, jota pohjustettiin perehtymällä akustiikan keskeisiin peruskäsitteisiin, esimerkiksi taajuuteen. Akustiikka on nykypäivänä erittäin tärkeässä asemassa suunnittelussa, sillä se vaikuttaa radikaalisti ihmisten viihtyvyyteen ja jopa terveyteen niin työpaikalla kuin kotonakin. LVI-akustiikka on viime vuosikymmeninä tullut tärkeämmäksi, koska talotekniikan kehittyessä myös taloteknisiä laitteita on tullut rakennuksiin ja huoneistoihin lisää. Tästä syystä taloteknisille laitteille on monia omia äänenvaimennuskeinoja niin osilla kuin hyvällä suunnittelullakin. Erittäin suuri merkitys LVI-akustisessa äänenvaimennuksessa on kuitenkin rakenteellisilla ratkaisuilla. Esimerkiksi tiiviit ja ääntä läpäisemättömät läpiviennit tehdään käyttäen rakennusmateriaaleja, esimerkiksi joustavia massoja ja betonia. Hyvänä lähtökohtana ääniongelman ehkäisemiselle voidaan pitää sitä, että kaikki tarisevat ja värinää aiheuttavat laitteet ja putket pitäisi saada tiukasti rakenteisiin kiinni, jotta värähtely loppuisi ja jottei se siirtyisi rakenteen kautta huonetiloihin.

Itse opinnäytetyöprosessi oli mielenkiintoinen ja haastava. Akustiikan ohella opin paljon lisää myös LVI:n perusteista. Itselleni tuli ehkä pienoisenä yllätyksenä, miten paljon LVI-akustiikka on lopulta rakenteellisista ratkaisuista kiinni. Haastavaa oli löytää LVI-puolelta monia eri lähteitä, jotta voisi tehdä lähdevertailua ja sitä kautta koota niistä yhteinen teksti. Kirjalliset lähteeni käsittelivät lähinnä akustiikkaa yleisesti ja rakennepuolen akustiikkaa ja talotekniikan puolelta käsiteltiin lähinnä ilmanvaihtoa. Rakennustieto Oy:n julkaisemat LVI-ohjekortit osoittautuivat erittäin hyviksi lähteiksi, sillä siellä oli tarvittavat vastaukset melkeinpä kysymykseen kuin kysymykseen. Opinnäytetyö antaa hyvin vastauksia niille, joilla on LVI-akustisia ongelmia tai kysymyksiä.

Lähteet

- 1 Halme, Alpo. 1976. Rakennus ja huoneakustiikka. Helsinki: Omakustanne.
- 2 Kylliäinen, Mikko. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 3 LVI-ohjekortti 12-10217. Putkien läpiviennit. 1994. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 4 LVI-ohjekortti 30-10333. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksessa. 2002. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 LVI-ohjekortti 12-10327. Vesikeskuslämmityksen äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus. 2001. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 6 LVI-ohjekortti 20-10328. Vesi- ja viemärilaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus. 2001. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 7 LVI-ohjekortti 12-10370. Putkistojen ja kanavien kannakointi. 2004. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 8 Melu. 2013. Verkkodokumentti. Työsuojeluhallinto.
<<http://www.tyosuojelu.fi/fi/melu>> Luettu 03.02.2014
- 9 Karjalainen, Matti. 2002. Hieman akustiikkaa. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto
< https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.2300/materiaali/S-89_2300_tiivistelma_hieman_akustiikkaa.pdf> Luettu 03.02.2014
- 10 Mitä melu on? 2014. Verkkodokumentti. Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto.
<https://osha.europa.eu/fi/topics/noise/index_html/what_is_noise_html> Luettu 04.02.2014
- 11 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki: ympäristöministeriö

- 12 SFS 5907. Rakennusten akustinen luokitus. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS
- 13 Valtioneuvoston asetustyöntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. 2006. 85/26.01.2006
- 14 IWAKI MXM -keskipakopumppu, kuva. 2012. Verkkodokumentti. IWAKI Suomi Oy. <<http://keskipakopumppu.fi/files/2012/05/mxm545a1.jpg>> Luettu 06.03.2014
- 15 Purmo Kon -konvektori, kuva. 2014. Verkkodokumentti. Purmo. <http://www.purmo.com/docs/RETT0300_Range_FI_0613_lowres.pdf> Luettu 06.03.2014
- 16 Fläkt Woods BDER -äänenvaimennin, kuva. 2014. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.fi/47ddc66d-9346-48b1-a5bb-88dbc9f308d8>> Luettu 13.03.2014
- 17 Profiloitu vaahtomuovi, kuva. 2014. Verkkodokumentti. Oy Meluton AB. <<http://meluton.fi/tuotteet/akustointimateriaalit/profiloitu-vahtomuovi>> Luettu 13.03.2014
- 18 Mittaus- ja säätölaite IRIS, kuva. 2014. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872>> Luettu 13.03.2014